



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**  
**CAMPUS DIADEMA**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**



**LUCAS AZEVEDO MESQUITA PEREIRA**

**INVESTIGANDO OS ELEMENTOS ESTRUTURANTES DE  
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS DE FÍSICA MODERNA PARA O  
ENSINO SUPERIOR**

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PECMA

Diadema

2019



LUCAS AZEVEDO MESQUITA PEREIRA

INVESTIGANDO OS ELEMENTOS ESTRUTURANTES DE  
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS DE FÍSICA MODERNA PARA O  
ENSINO SUPERIOR

Dissertação apresentada, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências, ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PECMA Stricto Sensu do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme de O. Brockington

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PECMA

Diadema

2019

Mesquita, Lucas

Investigando os elementos estruturantes de Sequências Didáticas de Física Moderna para o Ensino Superior / Lucas Azevedo Mesquita Pereira. -- Diadema, 2019.

530.0711 f.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2019.

Orientador: José Guilherme de Oliveira Brockington

1. Relatividade Especial. 2. Teaching-Learning Sequences 3. Ferramenta de Design. 4. Sequência Didática. 5. Ensino Superior.  
I. Título.

CDD 530.0711

Dedico esse trabalho a todos que, verdadeiramente, buscam melhorar a educação brasileira, tornando-a melhor, mais justa e mais inclusiva.

Dedico também a minha família, noiva e orientador.



Em momentos como esse, a hora de agradecer, não há justiça nas palavras, pois o peso que cada uma delas carrega é brando ou simplório. Assim, em meio a elas, é impossível traduzir, dá mais perfeita forma, o agradecimento merecido a cada um de vocês, além de ser avassalador, para mim, não poder distribuir os louros, se obtiver algum, dessa pesquisa com quem desejo. Todavia, adianto que se seu nome estiver presente nesse agradecimento, tenha certeza que, de alguma forma, você é responsável pela concretização desse trabalho. Pois de maneira direta, ou indireta, foi fonte inspiração, vontade, segurança, apoio ou sabedoria para mim.

Não há clichê em dizer que sou muito grato a minha família. Sem o apoio e incentivo de vocês, nada disso seria possível. Agradeço à minha mãe Solange, figura que me deu o dom de lecionar, me ensinou muito, ao mesmo tempo, que sem você, por algumas horas, me ensinou a valorizar algo que ninguém nunca tinha feito, a vida. Agradeço a meu pai Cleiton, a pessoa mais serena e sábia que conheço. Não hesitaria em trocar nossa, extrema, semelhança física, se pudesse me parecer com você por dentro. Desta forma, espero que com tempo nós possamos cada vez mais se assemelhar. Além disso, tenho que agradecer imensamente minha irmã Ieda, meu orgulho e paixão, aquela que em apenas um olhar e ou gesto consegue me fazer rir ou chorar sem parar.

Há muito o que agradecer ainda, pois, sem minha amada noiva Maythê, nada disso seria possível. A palavra gratidão não é suficiente para retribuir seu companheirismo, amor, carinho e amizade. Talvez seja por isso que “*meu coração carnavalesco, faz de tu minha marchinha favorita*”. Ademais, nosso amor é brindado por nosso *filho canino*, Bruce, que, inexplicavelmente, é acolhedor e amigo de um modo sutil nos gestos, mas forte no sentimento.

Quero agradecer também ao apoio dos meus demais familiares que sempre estiveram na torcida por mim, a vocês meu muito obrigado. E, em especial, a meu Vô Francisco, Vô Antônio, Tia Rosa, Vô Sueli e a minha Vô Alice que sempre estará comigo, aonde quer que vá.

Seria muita ingratidão da minha parte não agradecer quem fez do nosso cotidiano atarefado e cansativo mais alegre e leve. Quero agradecer a Paloma Marques, Caroline Doná, Beatriz Belloti e Natália Dias por permitirem que o ambiente acadêmico fosse mais festivo e agradável. Além delas, devo agradecer a quem sempre melhora uma grande parte do meu dia, e, principalmente, traz significado a minha escolha profissional. Assim, sou grato a meus alunos que estiveram comigo nos três anos de desenvolvimento dessa pesquisa, mas, principalmente, aos estudantes que me animaram em 2018 e 2019, momento mais cansativos e árduos dessa dissertação.

Não obstante de quem já foi citado, estão aqueles que contribuem com mais que incentivo, mas com conhecimento e ajuste na pesquisa. Quero agradecer aos participantes da

banca de qualificação, os professores Leonardo Testoni e Maurício Pietrocola. Além deles, agradeço a Fabiana Kneubil pelos conselhos e pela participação na banca examinadora. Ademais, sou grato a Paulo Henrique, por aceitar, de prontidão, participar da banca examinadora.

Não menos importante, agradeço a alguém que indiretamente contribuiu muito para essa dissertação, e o mais contraditório, fez isso apenas sendo ele mesmo. Para quem o conhece, sabe que em quinze minutos de conversa, aprenderá mais do que um semestre de graduação. Por isso, obrigado professor Manoel Robilotta.

Terminando, agradeço, principalmente, a Carlos Senise, pela formação, contribuição, ajuda, disposição e pelas boas histórias sobre nosso verdão. Falo com toda tranquilidade, sem você, metade desse trabalho não seria possível.

Por fim, necessito agradecer a duas pessoas especiais. A primeira, Ana Paula Moreira, pois, além de ótima cozinheira e me alegrar com pratos maravilhosos, tem um coração enorme e conhecimento humano e pedagógico gigantesco. Por isso, esse trabalho tem seu toque, mas muito além disso, quem escreve esse agradecimento, também. Assim, muito obrigado Ana.

Por último, mas não menos importante, agradeço imensamente a meu orientador, Guilherme Brockington. Seu *jeitin minero*, fica evidente nos contos de causo, mas principalmente, nas horas e horas de conversa, sempre muito boas, que temos. Por isso, é um grande amigo que o particular universo acadêmico me deu. De coração muito obrigado por toda formação, amizade, compreensão e ajuda Gui. Espero um dia ser tão bom quanto você é, pois, você é a melhor tradução da epígrafe escolhida para essa dissertação.

Não há miséria no meu silêncio, talvez, calado, seja mais livre, para essas horas, poucos presenciam a riqueza de minhas ideias, por isso, para aqueles que permitiram que pudesse em meu mundo trabalhar, meu muito obrigado.

Para encerrar, aqueles que possuem o nome nesse agradecimento, não há palavras que resumam melhor nossa ligação, por isso, como diz na música do *Emicida*:

As pessoas são como as palavras;  
Só tem sentido se junto das outras;  
Foi sonho, foi rima, hoje é fato pra palco;  
Eu e você juntos somos nós;  
"Nós" que ninguém desata



*“To dream the impossible dream;  
To fight the unbeatable foe;  
To bear with unbearable sorrow;  
To run where the brave dare not go;  
To right the unrightable wrong;  
To love pure and chaste from afar;  
To try when your arms are too weary;  
To reach the unreachable star;  
This is my quest;  
To follow that star;  
No matter how hopeless;  
No matter how far;  
To fight for the right;  
Without question or pause;  
To be willing to march into hell;  
For a heavenly cause;  
And I know if I'll only be true;  
To this glorious quest;  
That my heart will lie peaceful and calm;  
When I'm laid to my rest;  
And the world will be better for this;  
That one man, scorned and covered with scars;  
Still strove with his last ounce of courage;  
To reach the unreachable star.”*

*(Man of la Mancha – Escrito por Joe  
Darion & Mitch Leigh)*



## RESUMO

Essa pesquisa é fruto da insatisfação pessoal e da vontade de evoluir como docente. Assim, dotados de tal frustração, questionamo-nos acerca do processo de criação de atividades e sequências didáticas. Desta forma, nosso principal objetivo é identificar estruturantes de tais sequências. Fazemos isso com intuito de permitir a criação de produtos didáticos cada vez menos personificados ou guiados pela intuição. Ou seja, buscamos com essa pesquisa aspectos teóricos e metodológicos capazes de possibilitar o desenvolvimento de instrumentos de ensino, que tenham sua aplicabilidade e viabilidade ligadas ao nível de detalhamento minucioso e núcleo rígido de conteúdos e conceitos. Por conseguinte, sendo uma opção teórica para docentes que buscam pesquisas reaplicáveis em diversas situações de sala de aula.

Para alcançar os objetivos dessa pesquisa, utilizamos a Teaching-Learning Sequences como principal arcabouço teórico para compreender os processos envolvidos na criação e desenvolvimento de uma sequência didática (SD), de sua elaboração inicial até sua aplicação. Além dela, também utilizamos a metodologia de pesquisa Design-Based Research com intuito de sofisticarmos nossa sequência por meio dos processos de redesign e reaplicação.

Desta forma, essa pesquisa de Mestrado investiga de maneira sistemática o processo de construção e estruturação de uma sequência didática para o ensino de Física. Seu objetivo principal é compreender de forma aprofundada a produção do conhecimento didático, especialmente de Física Moderna, para o ensino superior. Todavia, nossos resultados não são só teóricos, pois, a partir das estruturas identificadas, criamos atividades e essas foram aplicadas em uma disciplina de Teoria da Relatividade no curso de Licenciatura em Ciências da Universidade Federal de São Paulo. Fizemos isso com intuito de identificar os impactos dos estruturantes, utilizados na criação das atividades, na aplicação e desenvolvimento dessa atividade em sala de aula. Sendo assim, entendemos que um dos resultados dessa pesquisa sejam nossos próprios estruturantes e as atividades criadas a partir deles, ao mesmo tempo que, uma outra parte compreende os dados oriundos da aplicação dessas atividades. Por fim, tais resultados são apresentados e discutidos no capítulo final dessa dissertação.

**Palavras-chave:** Relatividade Especial, Teaching-Learning Sequences, Ferramenta de Design, Sequência Didática, Ensino Superior.



## ABSTRACT

This research is the result of personal dissatisfaction and the willingness to evolve as a teacher. Thus, endowed with such frustration, we wonder about the process of creating activities and didactic sequences. In this way, our main objective is to identify structuring of such sequences. We do this in order to allow the creation of didactic products that are increasingly less personified or guided by intuition. In other words, we seek with this research theoretical and methodological aspects capable of enabling the development of teaching instruments, that have their applicability and feasibility linked to the level of detailed detailing and rigid nucleus of contents and concepts. Therefore, it is a theoretical option for professors seeking reapplying research in different classroom situations.

To achieve the objectives of this research, we used Teaching-Learning Sequences as the main theoretical framework to understand the processes involved in the creation and development of a didactic sequence (DS), from its initial elaboration to its application. In addition to, we also use the research methodology Design-Based research in order to sophisticate our sequence through the processes of redesign and reapplication.

Thus, this master's research investigates systematically the process of constructing and structuring a didactic sequence for the teaching of physics. Its main objective is to understand in depth the production of didactic knowledge, especially of modern physics, for higher education. However, our results are not only theoretical, because from the identified structures, we created activities and these were applied in a discipline of theory of relativity in the course of degree in sciences of Universidade Federal de São Paulo. We did this in order to identify the impacts of the structuring, used in the creation of activities, in the application and development of this activity in the classroom. Thus, we understand that one of the results of this research is our own structuring and the activities created from them, at the same time, that another part of results derived from the application of these activities. Finally, these results are presented and discussed in the final chapter of this dissertation.

**Keywords:** Special Relativity, Teaching-Learning Sequences, Design Tools, Didactic Sequence, Higher Education.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Explicação dos grupos criados a partir da palavra-chave relatividade. ....	32
Figura 2: Classificações e intersecções para pesquisa.....	33
Figura 3 - Esquema de design para DBR (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017 p.3).....	69
Figura 4 - Losango Didático retirado de Méheut e Psillos (2004) .....	71
Figura 5 - Esquema criado para exemplificar o resumo de Leach et al. (2010).....	73
Figura 6 - Esquema de diferentes escalas de tempo relacionadas a sua ação ou momento. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.3).....	73
Figura 7 - Hipótese sobre compreensão conceitual em relação à análise do conhecimento em termos de modelagem. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.7) Tradução: própria.....	76
Figura 8 - Comparação de organizações didáticas (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.9) Tradução: própria.....	80
Figura 9 - Categoria das tarefas epistemológicas. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.16) Tradução: própria.....	81
Figura 10 - Exemplo de estruturação retirado de (PESSANHA E PIETROCOLA, 2013, p.3) .....	82
Figura 11 - Estrutura de atividade relacionando o conhecimento com seus motivadores (LIJNSE e KLAASSEN, 2004 p. 164) Tradução: Própria. ....	84
Figura 12 - Relação e objetivo de cada momento da aula. Adaptado e traduzido de Lijnse e Klaassen(2004) p. 164. ....	84
Figura 13 - Estruturação de atividade utilizando Grandes Teorias, Estruturas intermediárias e Ferramentas de Design (RUTHVEN et al., 2009, p.332).....	86
Figura 14 - Análise da demanda de aprendizagem do conceito de força (Traduzido e adaptado de SAVINAINEN et al., 2005, p.4).....	90
Figura 15 - Tabela de comparação entre demanda de aprendizagem e Reconstrução Educativa. (VIIRI e SAVINAINEN, 2008) Tradução: própria. ....	92
Figura 16 - Esquematização do processo de criação das ferramentas de design.....	101
Figura 17 - Nuances e aspectos que reverberam desde grande teoria até a ferramenta de design .....	101
Figura 18 - Resumos das grandes teorias presentes na estrutura intermediária situações complexas Polissignificativas.....	104
Figura 19 - Teorias epistemológicas e cognitivas da ferramenta de design e a relação com o signo "tempo" .....	111
Figura 20 - Estrutura da ferramenta <i>Multidimensões</i> e signo "tempo" .....	112

Figura 21 - Teorias epistemológicas e cognitivas da ferramenta de design Crises Complexas .....	114
Figura 22 - Estruturação e funcionalidade da ferramenta de design dentro da atividade.....	115
Figura 23 – Estrutura geral de uma Workbench Educacional. Autoria Própria. ....	118
Figura 24 - Calendário de desenvolvimento do curso .....	120
Figura 25 - Conteúdo programático específico de cada aula do curso.....	121
Figura 26 - Resumo de Aula (aula1) .....	125
Figura 27 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade <i>Paradoxo dos Gêmeos</i> .....	127
Figura 28 - Prontuário comum de um paciente .....	128
Figura 29 - Prontuário do paciente que gera a crise .....	128
Figura 30 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade Plantão médico. ....	129
Figura 31 - Resumo de Aula (aula2) .....	130
Figura 32 - Resolução do problema da indução do eletromagnetismo durante a atividade. ..	131
Figura 33 – Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade problema de indução. ....	131
Figura 34 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Professor eventual. ....	132
Figura 35 - Resumo de Aula (aula3) .....	133
Figura 36 - Resumo da estrutura da ferramenta <i>Multidimensões</i> na atividade que horas são? .....	134
Figura 37 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade relógio de luz. ....	135
Figura 38 - Resumo de Aula (aula4) .....	135
Figura 39 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Marco zero. ....	136
Figura 40 - Ilustração indicando o mapa de assentos do ônibus .....	137
Figura 41 - Ilustração indicando das armas em distância L uma da outra.....	138
Figura 42 - - Ilustração indicando das armas do deslocamento do ônibus em relação as armas. ....	138
Figura 43 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade Assassino duplo. ....	139
Figura 44 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Assassino duplo. ....	140
Figura 45 - Resumo de Aula (aula8) .....	140



Figura 46 - Gif utilizada e retirada de uma sequência de cena do programa <i>Mythbusters</i> .....	141
Figura 47 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Descolamento pelo tempo. ....	142
Figura 48 - Demonstração da dinâmica "divertida" .....	161
Figura 49 - Demonstração relógio de luz em repouso.....	162
Figura 50 - Esquema de fotos do relógio de luz .....	162
Figura 51 - Ilustração da luz, no relógio de luz, parado, deslocando $2L$ .....	162
Figura 52 - Demonstração do relógio de luz em movimento relativo à sala. ....	163
Figura 53 - Compilado de fotos do deslocamento do relógio de luz.....	163
Figura 54 - Trajetória da luz no relógio de luz .....	163
Figura 55 - Alunos realizando a atividade Marco zero. ....	166



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de trabalhos obtidos com o uso de TLS .....	42
Tabela 2 - Número de trabalhos obtidos com os termos TLS + Science Education .....	43
Tabela 3 - Número de trabalhos obtidos com os termos TLS + Science Education + Physics .....	44
Tabela 4 - Total de trabalhos obtidos com uso de DBR.....	45
Tabela 5 - Total de trabalhos obtidos com uso de DBR + Science Education.....	46
Tabela 6 - Total de trabalhos obtidos com os termos DBR + Science education+ Physics .....	46
Tabela 7 - Evolução do número de trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences. ....	47
Tabela 8 - Evolução do número de trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences + Science Education.....	48
Tabela 9 - Redução do número de resultados em relação ao número de descritores utilizados .....	50
Tabela 10 - Relação de publicações em Science Education nos últimos 20 anos.....	50
Tabela 11 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região .....	53
Tabela 12 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região .....	54
Tabela 13 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região. ....	55
Tabela 14 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região. ....	56
Tabela 15- Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região. ....	56
Tabela 16 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições de todo o Brasil.....	60
Tabela 17 - Estimativas de intervalo de tempo dos alunos.....	161



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de trabalhos, de um total de 117 destacados. ....	34
Gráfico 2 -Evolução do número de trabalhos selecionados no termo Relatividade.....	35
Gráfico 3 - Evolução do número de trabalhos selecionados nos Subgrupos.....	35
Gráfico 4 - Distribuição de trabalhos relativos às palavras-chaves.....	36
Gráfico 5 - Evolução das palavras-chaves em relação ao número de edições. ....	37
Gráfico 6 - Número de Trabalhos selecionados por categoria. ....	38
Gráfico 7 - Evolução do Número de trabalhos de cada categoria ao decorrer das edições do EPEF.....	39
Gráfico 8 - Relação de Trabalhos com TLS em português .....	44
Gráfico 9 - Relações de Trabalhos com TLS no mundo .....	44
Gráfico 10 - Redução do número de resultados em relação ao número de descritores utilizados. ....	48
Gráfico 11 - Origem dos trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences + Science Education.....	49
Gráfico 12 - Distribuição de publicações em Scince Education nos últimos 20 anos por região. ....	51
Gráfico 13 - Porcentagem de instituições que possuem curso de licenciatura em física ou ciências. ....	57



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- Cesupa – Centro Universitário do Estado do Pará.
- DBR – Design-Based Research
- EPEF – Encontro Nacional de Ensino de Física
- ERIC – Education Resources Information Center
- GPS – Global Positioning System;
- PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro;
- PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul;
- SBF – Sociedade Brasileira de Física
- SD – Sequência Didática
- SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física
- TLS – Teaching-Learning Sequences
- UCB-DF – Universidade Católica de Brasília;
- UFBA – Universidade Federal da Bahia;
- UFC – Universidade Federal do Ceará;
- UFG – Universidade Federal de Goiás;
- UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais;
- UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul;
- UFPA – Universidade Federal do Pará;
- UFPE – Universidade Federal de Pernambuco;
- UFPR- C – Universidade Federal do Paraná – Curitiba;
- UFPR- J – Universidade Federal do Paraná – Jandaia;
- UFPR- M – Universidade Federal do Paraná – Matinhos;
- UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia;
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;
- Unama – Universidade da Amazônia (PA);
- UnB – Universidade de Brasília;
- UNESP – Universidade Estadual Paulista;
- UNICAMP – Universidade de Campinas;
- UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo;
- UNIFOR-CE – Universidade de Fortaleza;

- USP – Universidade de São Paulo;
- USP-São Carlos – Universidade de São Paulo - São Carlos;
- UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná;



## Sumário

1. Introdução .....	27
1.1 Problema de pesquisa .....	27
1.2 Campo de pesquisa .....	30
1.2.1 SNEF .....	33
1.2.2 EPEF .....	37
1.2.3 Google Acadêmico® .....	41
1.2.4 ERIC .....	47
1.3 Relativamente Formado .....	52
1.3.1 Sul .....	52
1.3.2 Sudeste .....	54
1.3.3 Centro-Oeste .....	55
1.3.4 Nordeste .....	55
1.3.5 Norte .....	56
1.3.6 Brasil .....	57
2. Referencial teórico .....	61
2.1 Existe a necessidade de pensarmos nas estruturas das sequências de ensino-aprendizagem? .....	61
2.2 Uma visão geral da DBR e da TLS .....	67
2.2.1 DBR .....	67
2.2.2 TLS .....	70
2.3 Estrutura e esquemas da TLS .....	77
2.4 O estruturante principal, a Ferramenta de Design. ....	85
2.5 Parafusar prego com martelo .....	93
3. Metodologia .....	98
3.1 Desenvolvimento da pesquisa .....	98
3.2 Para a criação do curso .....	99
3.2.1 O processo e a necessidade .....	99

3.2.2	Nossa estrutura intermediária .....	102
3.2.3	Nossas Ferramentas de Design .....	104
3.3	Espaço de Design.....	115
3.3.1	Workbenches educacionais.....	117
3.4	O Professor Parceiro .....	118
3.5	Calendário .....	119
3.6	Análise da aplicação e origens dos dados.....	121
3.6.1	Natureza da Pesquisa .....	121
3.6.2	Nosso estudo de caso e análise dos dados. ....	124
4.	Resultados.....	125
4.1	Ferramentas e as Atividades .....	125
4.1.1	Aula 1.....	125
4.1.2	Aula 2.....	129
4.1.3	Aula 3.....	133
4.1.4	Aula 4.....	135
4.1.5	Aula 5.....	137
4.1.6	Aula 8.....	140
4.1.7	Demais aulas e atividades.....	142
4.2	Análise .....	145
5.	Considerações finais. ....	176
	Referências Bibliográficas .....	182
	Links e Sites.....	182
	Bibliografia .....	186
	Anexos .....	195

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Esse projeto é fruto da insatisfação pessoal e da vontade de evoluir como docente. Licenciado em Ciências - Habilitação Física - pela Universidade Federal de São Paulo - durante a graduação fui surpreendido pela paixão, ainda desconhecida, de lecionar. Esse gosto pela docência começou nas primeiras monitorias do Museu Catavento e foi se desenvolvendo cada vez mais em minha primeira sala de aula e o nos primeiros anos de carreira.

Atualmente, sou professor de Física do Ensino Médio em escolas particulares de Diadema. Em minhas aulas, procuro desenvolver atividades e práticas baseadas nos conhecimentos que obtive durante a graduação. Porém, em meio a isso, notei que quando compilava essas atividades ou pensava em criar uma sequência didática, elas pareciam demasiadamente personalizadas, estruturadas principalmente em minha intuição e em minha criatividade. Ainda que tais critérios estejam embebidos de conteúdo do ensino de ciências, essas sequências passaram a me soar como um produto “artesanal”.

Ressalto que tal adjetivo não pretende ser, de modo algum, pejorativo. O termo serve para materializar o sentimento de que as sequências didáticas que criava funcionariam se, e somente se, fossem aplicadas por mim, ou seja, um material personificado do autor. Além disso, tinha a impressão de que esse processo de criação era guiado mais pela intuição, crenças e experiência do que pelos conhecimentos teóricos que, supostamente, deveriam dar suporte a esse tipo de ação. Entretanto, paralelo a essa reflexão, sempre tive em mente que as sequências podem possuir estruturas bem definidas, com nível de detalhamento minucioso (LEACH et al. 2008) e núcleo rígido de conteúdos e conceitos (LIJNSE, 2008). Ademais, esses questionamentos partem não só de mim, mas também de meu orientador. Mas, infelizmente, acreditamos que tais reflexões não reverberam no cotidiano da maioria dos professores, principalmente, naqueles que estão afastados dos ambientes acadêmicos.

Nesse contexto, comecei a refletir sobre o meu papel enquanto professor e futuro pesquisador (pois foi antes de entrar no mestrado que tais questionamentos surgiram), percebendo que o cerne das minhas sequências didáticas era composto, em sua grande maioria, por subsídios pessoais. Assim, acabei por identificar uma ausência de elementos estruturantes de sequências didáticas mais objetivos, advindos das pesquisas na área de Ensino de Ciências.

Desta forma, essa pesquisa de Mestrado investiga de maneira sistemática o processo de construção e estruturação de uma sequência didática (SD) para o ensino de Física. Seu objetivo principal é compreender de forma aprofundada a produção do conhecimento didático,

especialmente de Física Moderna para o ensino superior. O trabalho envolve estudar e entender o desenho e implantação de uma SD, extraindo desse processo seus elementos estruturantes. Além disso, buscamos confrontar ou expor parâmetros capazes de diminuir o caráter subjetivo, personalizado, dos produtos. Assim, possibilitando aspectos norteadores para outros docentes na criação de suas SD. Ou seja, com essa pesquisa buscamos responder a seguinte pesquisa: Quais são os estruturantes de sequências didáticas? Para que essas sejam menos personalizadas, individuais e capazes de serem utilizadas por demais pesquisadores e nichos de aplicação.

Durante os projetos iniciais de pesquisa (iniciação científica e trabalho de conclusão de curso) – em ensino de Física – descobri a TLS<sup>1</sup> (Teaching-Learning Sequences). Por meio desta metodologia de pesquisa, comecei a vislumbrar o potencial e importância de sequências didáticas rigorosas, coesas e estruturadas. Assim, é inegável a “parcela de culpa” dos autores principais da TLS na motivação, escopo e referência para esse trabalho. Desta forma, temos Teaching-Learning Sequences como principal arcabouço teórico para compreender os processos envolvidos na criação e desenvolvimento de uma SD, de sua elaboração inicial até sua aplicação.

Assim, investigamos de que maneira é possível, no contexto complexo das situações reais de sala de aula, extrair os principais elementos para que uma SD tenha potencial de ir além da intuição docente e possa apresentar índices mensuráveis do processo didático, como sugerida por Collins et al. (2004) e Lijnse (1990). Acredito que esses índices não sejam um desafio exclusivo desta pesquisa, mas da área de ensino de ciências como um todo. É importante distinguir que há excelentes produtos didáticos já produzidos e conhecidos no ensino, entretanto, gostaríamos de expor alguns estruturantes desse processo de criação para que outros professores possam criar produtos igualmente bons.

Paralelamente ao uso TLS, também buscamos utilizar a metodologia da Design-Based Research (DBR). Com ela, almejamos a sofisticação, cada vez maior da sequência didática e das atividades desenvolvidas nessa pesquisa. Por meio de processos de redesenho e reaplicações, a DBR pode proporcionar oportunidades para professores e pesquisadores de aperfeiçoar suas aulas. Assim, idealizamos, inicialmente, que todo seu potencial seria capaz de impulsionar nossa busca por objetos didáticos menos personificados, pois, os produzidos por esse projeto, seriam refinados com esse propósito. Além disso, nas repetições dos ciclos, previstos na DBR, acreditamos que os estruturantes ficariam cada vez mais evidentes.

---

<sup>1</sup> Metodologia de pesquisa e criação de sequências de ensino e aprendizagem. Com fundação europeia, possui raízes na didática francesa. Ela volta-se para estruturação do pensamento e conteúdo buscando melhores condições de ensino e aproveitamento do aprendizado.

Todavia, há outra motivação desse projeto de pesquisa que emerge de um âmago diferente da vontade de entender os processos de estruturação de sequências didáticas. A área do conhecimento científico escolhida por nós foi a Teoria da Relatividade Especial (ou Restrita). Embora acredite que minha formação tenha sido satisfatória, não tive, em nenhum momento da minha graduação, o contato com os trabalhos de Albert Einstein (com exceção do efeito fotoelétrico). Isso, além de me incomodar enquanto físico e professor de física, não é uma “falha” exclusiva do meu curso de graduação (a ausência de disciplina de Relatividade nos cursos de graduação será mais bem explorada no Capítulo II). Desta forma, a escolha pela Teoria da Relatividade Especial foi guiada por minha curiosidade, meu apreço pela Física Moderna e, mais precisamente, por causa da lacuna em minha formação. Por fim, quis fazer do Mestrado um processo de crescimento pessoal de um pesquisador, uma oportunidade para estudar e conhecer umas das mais brilhantes teorias da humanidade.

A compreensão da dimensão do vínculo que se estabelece entre a organização de determinados corpos teóricos e as práticas deles decorrentes é, pois, crucial para o desenvolvimento deste trabalho. Afinal, se a prática cotidiana, indiscutivelmente, é conteúdo do qual se alimenta a possibilidade de construção das teorias, é da teoria que emergem os critérios que orientam a prática. De outro modo, não haveria razão para a existência das Ciências. Explicar e apresentar modelos capazes de orientar a ação dos professores nas salas de aula é reiterar nossa responsabilidade na condução da aprendizagem formal dos alunos.

Por isso, o desenvolvimento desta dissertação organiza-se por meio de dois esforços complementares: a produção de um conteúdo teórico que decorre das principais sínteses já existentes sobre os fundamentos da estruturação didática e a construção de atividades específicas que emergem deste conteúdo teórico. A unidade almejada é a constituição de uma proposta de atuação docente. A possibilidade de aplicação daquilo que se constrói teoricamente nos é uma premissa cara uma vez que garante a necessária interpenetração entre ontologia, epistemologia e metodologia.

Desta forma, essa dissertação está dividida em cinco capítulos, *Introdução*, *Referencial teórico*, *Metodologia*, *Resultados* e *Considerações Finais*. No capítulo introdutório, voltamos nossa atenção para o campo de pesquisa atual e como ele é composto. Além disso, trabalhamos os aspectos envoltos em as nossas perguntas de pesquisa. Desta forma, no capítulo seguinte, apresentaremos os referenciais teóricos que permitiram que alcançássemos os resultados dessa dissertação. Nela, buscamos, com o aporte da literatura, identificar em outros trabalhos aspectos ou indicadores do que são e como podemos evidenciar os estruturantes de sequências didáticas.

Por conseguinte, na metodologia, apresentaremos o caminho trilhado até chegarmos aos nossos resultados. Com isso, é importante frisar que, tanto metodologia, quanto resultados estão divididos em seções específicas. Tal divisão, acontece, pois, como dito anteriormente, nosso trabalho articula teoria e prática, de modo que apresentaremos e analisaremos dois resultados. Assim, cada um, demandou um processo metodológico distinto. A divisão foi necessária, pois essa dissertação extrapolou as perguntas iniciais e alcançou patamares além do que esperávamos inicialmente. Porém, as partes não são dicotômicas ou antagônicas, mas, na verdade, ambas, unidas, são a construção e o desenvolvimento que acreditamos ser o ideal para uma pesquisa em ensino

Sendo assim, entendemos que um dos resultados dessa pesquisa são os próprios estruturantes que elaboramos e as atividades criadas a partir deles, ao mesmo tempo que, uma outra parte compreende os dados oriundos da aplicação dessas atividades. Ou seja, de uma maneira dialética, apresentamos a elaboração teórica desses estruturantes e, a seguir, as evidências de sua aplicação em sala de aula. Com isso, seções da metodologia são voltadas para como coletamos e analisamos esses dados. Por outro lado, uma parcela importante da pesquisa e metodologia é voltada ao processo de criação das estruturas e atividades, parte essa imprescindível para nós, já que almejamos que outros docentes e pesquisadores possam utilizar essa dissertação como uma norteadora do processo de criação de sequências de ensino aprendizagem.

Por fim, no capítulo final, concluiremos e discutiremos esses dois resultados e como eles podem evidenciar o que seria um estruturante de uma sequência didática. Além disso, trataremos uma breve reflexão acerca do comportamento do licenciando perante o conhecimento e as falhas que aconteceram durante a pesquisa.

## 1.2 CAMPO DE PESQUISA

*I wanna know, can you show me?  
I wanna know about the strangers like me  
Tell me more, please show me  
Something is familiar about the strangers like me  
(Strangers Like Me – Phil Collins)*

Neste capítulo, será apresentado o estado da arte acerca das pesquisas que envolvem os principais temas constituintes deste mestrado, como ensino de relatividade e sequência didática. Com isso, revisamos a bibliografia atual a fim de situá-lo dentro do campo de pesquisa do Ensino de Física. Para entendermos a real importância desse processo, destaco o trabalho de Randolph (2009). Segundo ele, a revisão bibliográfica deve ser coesa e completa, pois se apresentar lacunas irá comprometer o andamento e credibilidade da dissertação. Aliado a isso,

o autor usa concepções de Boote & Beile (2005), a partir do trabalho de Mullins & Kiley (2002), que transmitem a essência do pensamento criterioso de uma boa revisão bibliográfica:

“Um pesquisador não pode realizar pesquisas significativas sem primeiro entender a literatura no campo ”

(BOOTE & BEILE, 2005 apud RANDOLPH, 2009 p. 1, TRADUÇÃO NOSSA)

“Examinadores tipicamente começaram a revisar uma dissertação com a expectativa de que passasse; mas uma revisão de literatura mal conceituada ou escrita geralmente indica para eles que o resto da dissertação pode ter problemas. Ao encontrar uma revisão inadequada da literatura, os examinadores analisariam os métodos de coleta de dados, a análise e as conclusões mais cuidadosamente.”

(BOOTE & BEILE, 2005 apud RANDOLPH, 2009 p. 1, TRADUÇÃO NOSSA)

É preciso entender o objetivo da revisão bibliográfica na pesquisa e, para isso, Randolph (2009) discorre em seu texto utilizando outros trabalhos como base, Gall et al. (1996) e Hart (1998). A partir deles, o autor destaca valores e concepções da importância da revisão. A partir desses trabalhos, faço agora uma síntese que norteia esse capítulo.

Quando feita de maneira correta, o que significa um considerável período e energia empregados na tarefa, a revisão traz confiabilidade para o trabalho apresentado ou publicado. Assim, esse processo colabora com a pesquisa em vários aspectos. Ao realizá-la, devemos entender que seu papel vai além da fundamentação teórica. Ela permite delimitar o problema de pesquisa, possibilita adquirir conhecimentos metodológicos, diferencia o que já foi feito em relação ao que necessita ser feito e colabora para que o pesquisador amplie e melhore o vocabulário do tema de estudo. (GALL et al., 1996 e HART, 1998 apud RANDOLPH, 2009).

Desta forma, a seguir apresentamos a revisão dos últimos 20 anos de trabalhos e artigos publicados no âmbito acadêmico. Para entender como o tema de nossa pesquisa está inserido nacionalmente na área de ensino de Física, iniciamos a revisão pelos congressos mais importantes no país: o SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) e o EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física). Após essa etapa, para uma análise do tema de maneira mais global, focamos a revisão nos artigos dispostos no Eric (Education Resources Information Center). Nessa revisão, usamos palavras-chave essenciais para nossa pesquisa, a fim de situar nossos parâmetros e entender como a Relatividade, Sequência Didática, Teaching-Learning Sequences, Design-Based Research e suas combinações estão sendo trabalhada no campo de pesquisas em Ensino de Física no Brasil e no mundo. A forma de coleta dos dados, filtragem e classificação serão detalhados posteriormente.

Em primeiro lugar, foi preciso entender quais seriam os parâmetros de busca. Com isso, para SNEF e EPEF, ao procurar o termo “relatividade”, selecionamos todos os trabalhos que o citam no texto, título ou resumo. Feito isso, buscamos entender como aquele texto dialoga com o nosso problema de pesquisa e com os problemas circunscritos à época em que as

pesquisas foram realizadas. Desta forma, fizemos uma distribuição dos trabalhos em “grupos”:

a) Física Moderna no Ensino Básico; b) Relatividade no Ensino Básico; c) Física Moderna no Ensino Superior; d) Relatividade no Ensino Superior; e) Citações, Episódios Históricos e Outros. Assim, obtivemos as seguintes seções:

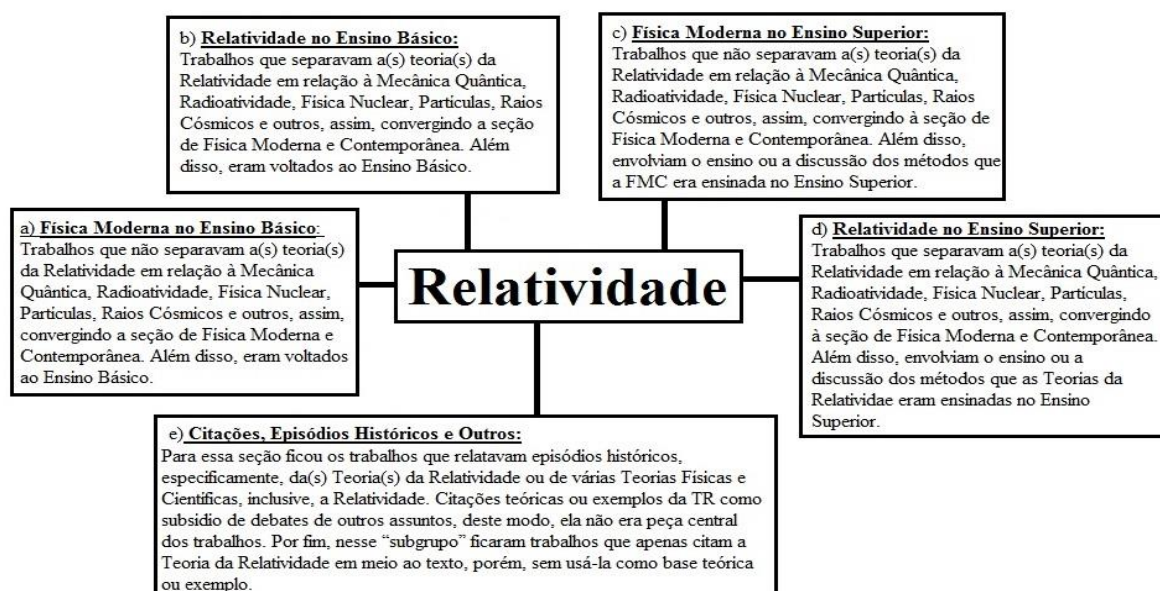


Figura 1: Explicação dos grupos criados a partir da palavra-chave relatividade.

A *Figura 1* relaciona os grupos e uma breve caracterização de quais aspectos foram levados em consideração para atribuímos um determinado trabalho àquela classificação. Além disso, a fim de criar uma revisão mais coesa, como aponta Randolph (2009), devemos entender como Teaching-Learning Sequences e Design-Based Research – que são nossa as teorias bases para montagem da nossa sequência didática – se relacionam com a Teoria da Relatividade e com a sociedade de pesquisadores que frequentaram os eventos nos últimos 20 anos. Assim, usamos os termos Sequência Didática, Teaching-Learning Sequences e Design-Based Research como descritores para a pesquisa dos trabalhos. Desta forma, as palavras-chaves e intersecções resultaram no esquema a seguir:



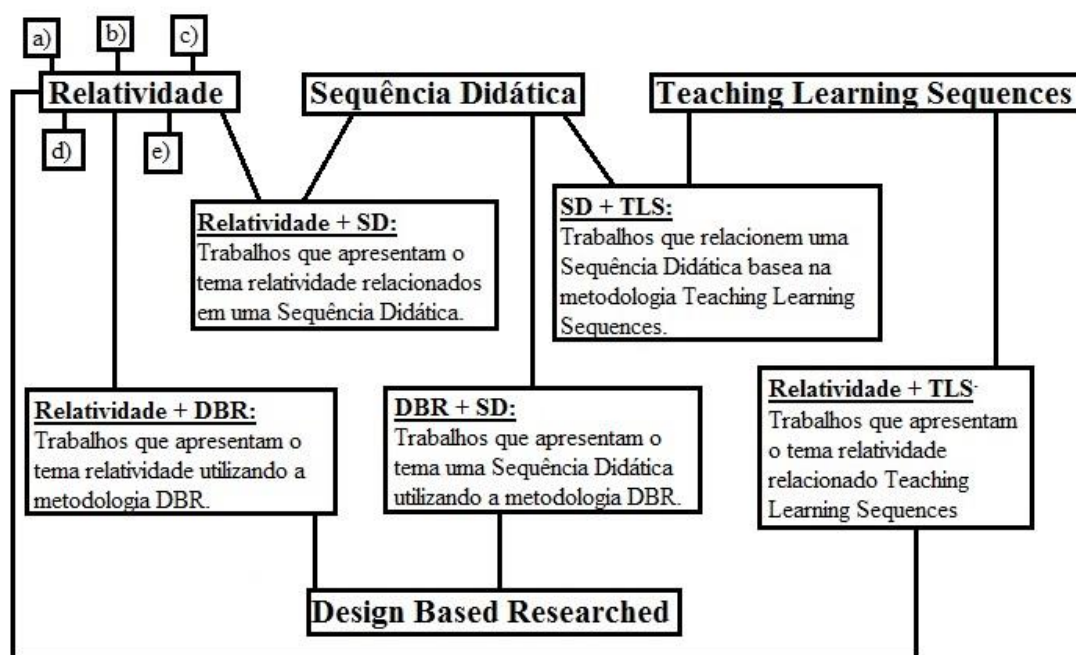


Figura 2: Classificações e intersecções para pesquisa

### 1.2.1 SNEF

Nosso primeiro foco de revisão foi o Simpósio Nacional de Ensino de Física, SNEF. Este evento é organizado e realizado pela Sociedade Brasileira de Física. Durante o processo de pesquisa, encontramos dificuldades em relação aos termos de busca, visto que até o XV<sup>2</sup> SNEF, temos acesso às atas, em pdf, no site da Sociedade Brasileira de Física (SBF). A partir do XVI, não há mais atas no site da SBF, mas thumbnails<sup>3</sup> de cada evento. Ao clicarmos nas imagens, somos redirecionados aos respectivos sites de cada edição. Neles, não há atas em formatos para download. Desta forma, necessitamos entrar nas abas de trabalhos ou cursos e oficinas. Além disso, a maior dificuldade encontrada foi o fato que nessas abas são disponibilizadas apenas os títulos dos trabalhos<sup>4</sup>, ou seja, para acessar os resumos ou o texto completo era necessário abrir, individualmente, cada trabalho desejado. Com isso, realizamos pesquisas também pelos termos *História* e *Física Moderna*. Desta maneira, procuramos a partir dessas palavras-chaves ligações ou o uso da Teoria da Relatividade, respeitando os grupos e parâmetros adotados desde o começo. Todo esse processo talvez vá ao encontro das afirmações de Randolph (2009), que alerta sobre a demanda de tempo necessária para realizar uma boa revisão bibliográfica.

<sup>2</sup> Com exceção do XIV SNEF que não possui ata no site da SBF e nem seções de atas no site do evento.

<sup>3</sup> São versões reduzidas de imagens, usadas para tornar mais fácil o processo de procurá-las e reconhecer. (Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Thumbnail>)

<sup>4</sup> Com exceção da Edição XIX que sequer possui uma seção no site para consulta dos trabalhos.

Embora tenhamos encontrado as dificuldades relatadas, a pesquisa apresentou números e reflexões bastante interessantes. Ao todo foram analisados SNEFs, contemplando um intervalo de tempo de 18 anos. Com isso, chegamos ao total de 117 trabalhos que, direta ou indiretamente, traziam a teoria da relatividade em seus textos, resumos ou ementas (levando em conta cursos e oficinas). Todavia, viu-se que a maioria trabalha os conceitos juntos com outras áreas da física (a), seguido de uma grande parcela que apenas citava-os ou relatava episódios históricos (e). Já os grupos (b) e (d), que se voltam integralmente à relatividade, apresentaram menos de 20 trabalhos durante o levantamento.

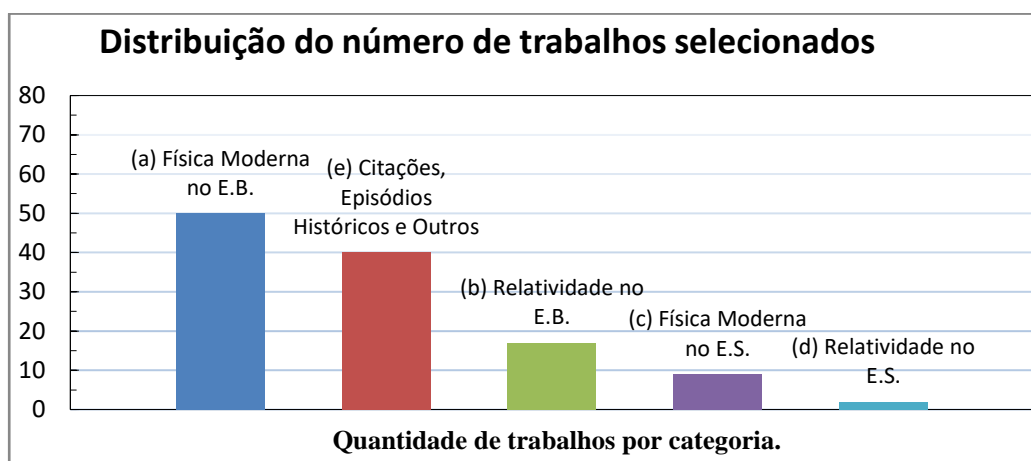


Gráfico 1 - Distribuição de trabalhos, de um total de 117 destacados.

O *Gráfico 1* representa a quantidade de trabalhos selecionados em todos os SNEFs avaliados, classificados em seus grupos. Isso, respectivamente, representa (a) 42,7%; (e) 34,2%; (b) 14,5%; (c) 7,7% e (d) 1,7% do total. Ainda que de forma preliminar, esse resultado revela nuances de uma realidade oposta ao trabalho realizado neste mestrado. Assim, é possível ver uma tendência, pelo menos no SNEF, de que os trabalhos nessa temática estão focados mais no ensino básico do que no Ensino Superior. Com isso, compreendemos melhor a afirmação de Hart (1998) apud Randolph (2009), em relação à importância da revisão para entendermos o campo de pesquisa, como também o que já foi feito e o que necessita ser feito.

Outro ponto interessante é entender como é a evolução dos grupos e dos números de trabalhos correspondentes ao termo relatividade durante os 18 anos analisados.

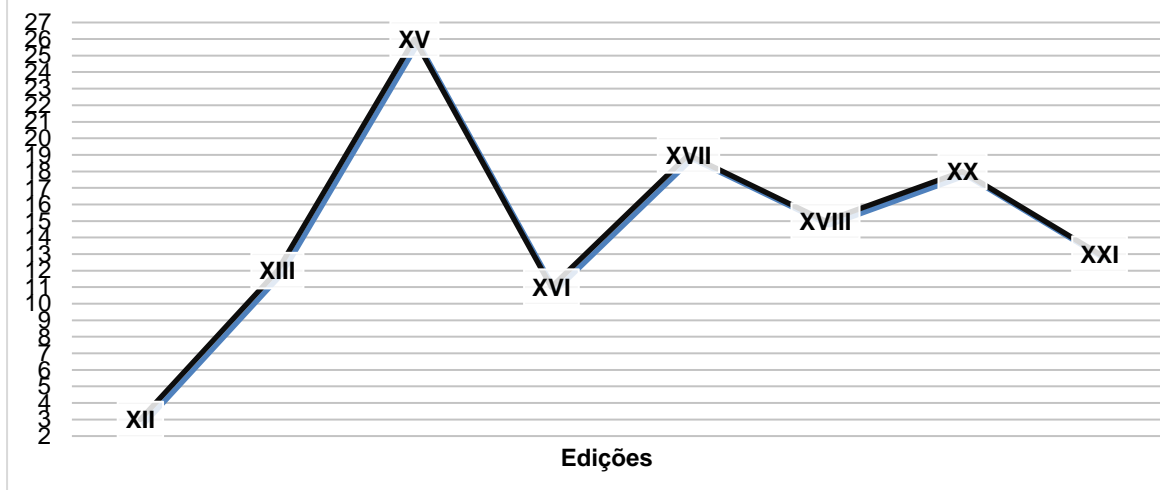


Gráfico 2 -Evolução do número de trabalhos selecionados no termo Relatividade.

Ao analisarmos a evolução, podemos entender que no XV SNEF tivemos o número recorde de trabalhos correspondente ao descritor. Entretanto, o período de maior constância do tema do tema parece ser entre XVII e XX, que corresponde aos anos entre 2007 e 2015. Já em relação aos grupos temos:

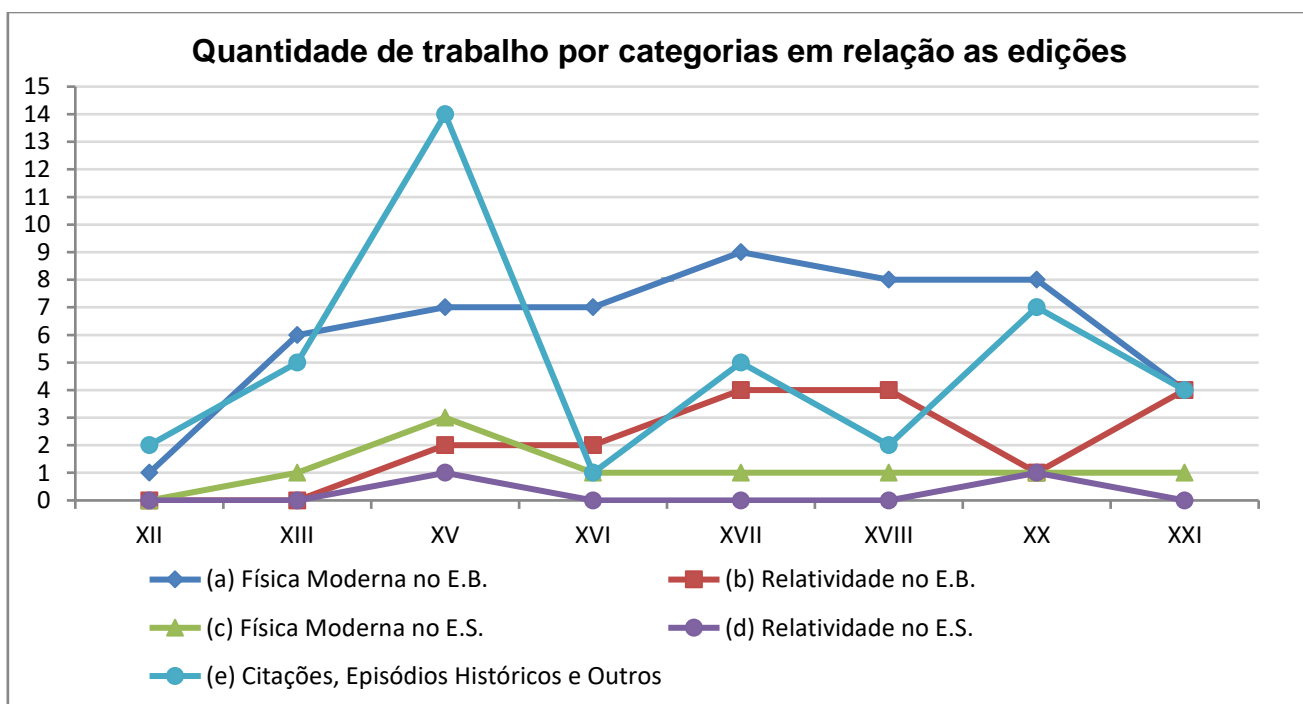


Gráfico 3 - Evolução do número de trabalhos selecionados nos Subgrupos.

O Gráfico 3 nos permite concluir que há trocas nas disposições do número de trabalhos em alguns subgrupos, como na edição XV, em que (e) apresenta 14 relações, assim, sendo a maior parcela ao invés de (a). Destacamos também, a evolução de (b), que não apresentou

<sup>5</sup> Com exceção da edição XIX de 2011.

nenhum exemplar nos primeiros dois simpósios analisados e, com exceção do XX evento, aumentou e manteve a quantidade de trabalhos sobre a temática da categoria.

Embora (d) mantenha o mesmo número de trabalhos, é extremamente desapontador que os números de pesquisas preocupadas com a Física Moderna no Ensino Superior não passem, no máximo, de quatro exemplares por edição do SNEF. Porém, necessitamos fazer uma breve discussão acerca do foco e do público desse evento. Tais números podem ser compreendidos, pois os participantes do SNEF, em geral, são professores de ensino fundamental, médio ou são graduandos e licenciandos de física. Ao analisarmos os participantes do XV (edição que apresentou maior número de trabalhos da categoria (e)), temos a dimensão do público alvo. Pois, dos 901 participantes, 49% são estudantes de ensino médio, graduação ou mestrado. Portanto, metade dos participantes ainda não possui formação para lecionar no ensino superior. Dessa forma, é plausível que não apareçam muitas pesquisas para esse nível educacional. Ademais, o baixo aparecimento deste tema de pesquisa fica ainda mais claro ao evidenciarmos que, dos 538 participantes declarados como professor, 68% são docentes dos ensinos fundamental e médio. Portanto, ainda que tenhamos exemplificado com apenas um evento, é sabido que esse é o perfil majoritário dos participantes desse evento.

Ainda no âmbito do SNEF, buscamos por trabalhos com outros termos como Sequência Didática, Teaching-Learning Sequences (em inglês e tradução direta “Sequência de ensino-aprendizagem”) e Design-Based Research (em inglês e tradução direta “Pesquisa baseada em design/desenho”) – doravante S.D., T.L.S e D.B.R. – e suas combinações. Infelizmente, os resultados foram menos interessantes do que os anteriores, visto que a única palavra-chave a apresentar algum resultado foi S.D. Assim, logicamente, as únicas intersecções de termos foram as que utilizavam Sequência Didática e Relatividade.

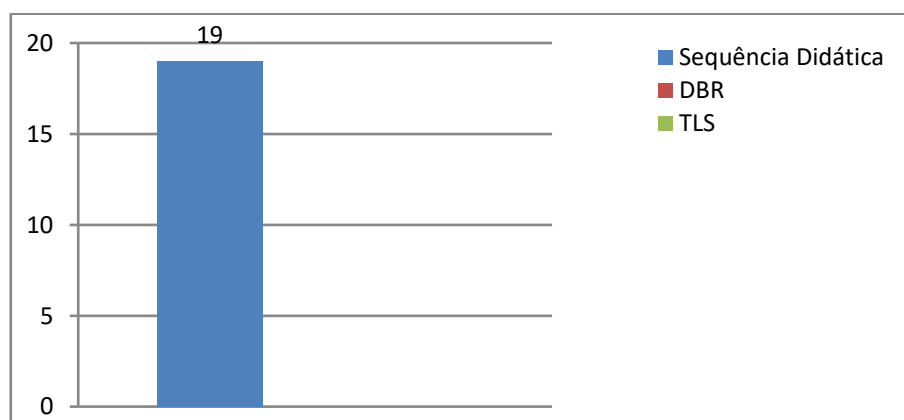


Gráfico 4 - Distribuição de trabalhos relativos às palavras-chaves.

Dos dezenove trabalhos que relacionam sequência didática em suas propostas, somente um, na XVII edição, relacionava esse termo à Teoria da Relatividade. Porém, ao analisarmos a evolução do termo, temos:

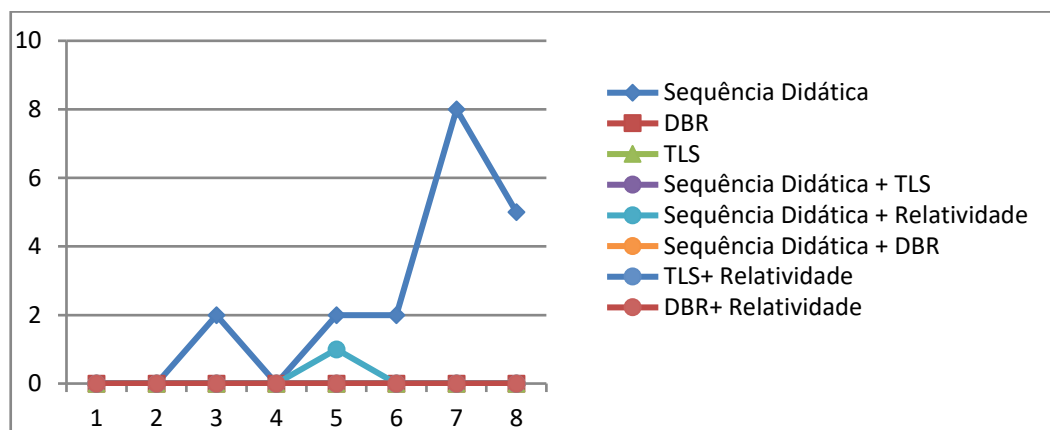


Gráfico 5 - Evolução das palavras-chaves em relação ao número de edições.

Assim, há indícios que o tema das Sequências Didáticas nas pesquisas da área está evoluindo. Além disso, esse número aumentou em relação aos primeiros SNEFs analisados. Isso nos levar a crer, ainda que de uma maneira incipiente, que os pesquisadores têm voltado esforços para o sequenciamento das aulas e não apenas para as atividades isoladas ou situações didáticas específicas, buscamos melhorar o contexto disciplinar como um todo. Pois, em suma, sequências didáticas compilam uma cadeia de acontecimentos do ensino que extrapolam uma única aula ou mesmo um conjunto de aulas. Portanto, esse tipo de pesquisa deve ser cada vez mais incentivado e valorizado, pois, por meio delas, poderemos encontrar soluções e propor mudanças que podem vir a melhorar a qualidade dos sistemas de ensino de física no país.

### 1.2.2 EPEF

Para o Encontro de Pesquisas em Ensino de Física (EPEF), utilizamos os mesmos descritores, classificações e grupos apresentados acima. Ou seja, (a) Física Moderna no Ensino Básico; (b) Relatividade no Ensino Básico; (c) Física Moderna no Ensino Superior; (d) Relatividade no Ensino Superior; (e) Citações, Episódios Históricos e Outros. Por consequente, suas combinações com sequência didática, TLS e DBR.

Semelhante ao SNEF, encontramos muitos problemas na coleta de dados. Foram analisadas 8 edições do evento (VII até XV<sup>6</sup>), contemplando um intervalo de tempo de 14 anos. Infelizmente, nossas dificuldades começaram no momento de adquirir o material para ser

<sup>6</sup> Com exceção da edição XIII (Encontro) que acontece junto a outros eventos da SBF, o que tornou a coleta de dados muito mais complicada.

revisado, ou seja, atas e livros de resumos. Assim como no SNEF, não são todas as edições que possuíam atas e livros de resumos digitais de fácil acesso. Na verdade, somente duas edições possibilitaram essa forma de acesso. Para as demais edições, tivemos que novamente entrar no programa do evento e analisar título e resumo pelas seções “comunicação oral”, “mesa redonda” e “posters”. Isso, além de retardar o processo, prejudica a análise, pois em muitos casos o título não era suficiente para o inserirmos em um de nossos grupos. Ademais, a edição XIII, conhecida como encontro de Física 2011, apresentou outras peculiaridades que nos fez descartá-la, como o fato de ser um evento especial que reunia outras convenções e eventos da SBF, como Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos e outros. Portanto, nossos resultados poderiam estar mesclados com trabalhos de outros eventos que não possuíam o mesmo escopo, por conseguinte, o número de trabalhos não seria fidedigno à lógica seguida nas demais edições. Assim, em um primeiro momento obtivemos os seguintes números:

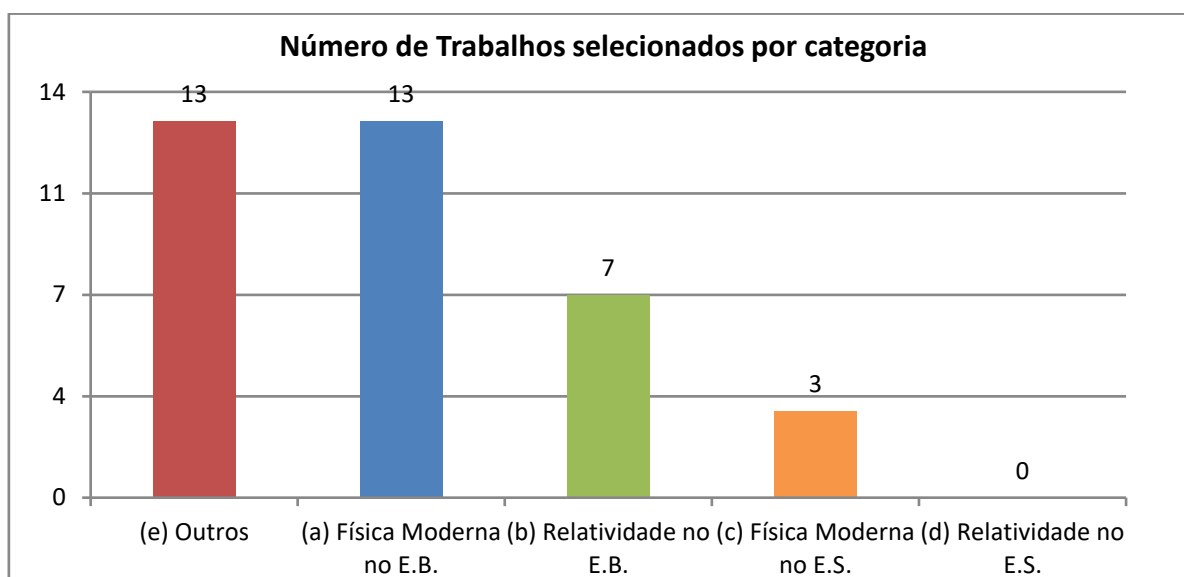


Gráfico 6 - Número de Trabalhos selecionados por categoria.

Como é possível notar a partir do gráfico 6, dos 36 trabalhos selecionados, mais da metade é voltada para o ensino básico. Além disso, (e) citações, episódios históricos e outros é um dos maiores enfoques nas pesquisas desse evento (13 trabalhos), lembrando que, nesta categoria estão episódios históricos, análise de material didático ou citações breves da teoria da relatividade. Com isso, obtivemos um número pouco expressivo de três trabalhos que envolviam teoria da relatividade no ensino superior (juntamente com outros conteúdos, compilando tudo em Física Moderna). É surpreendente que não tenhamos encontrado nenhum resultado para pesquisas somente de relatividade no ensino superior no maior congresso nacional da área de pesquisas em Ensino de Física.

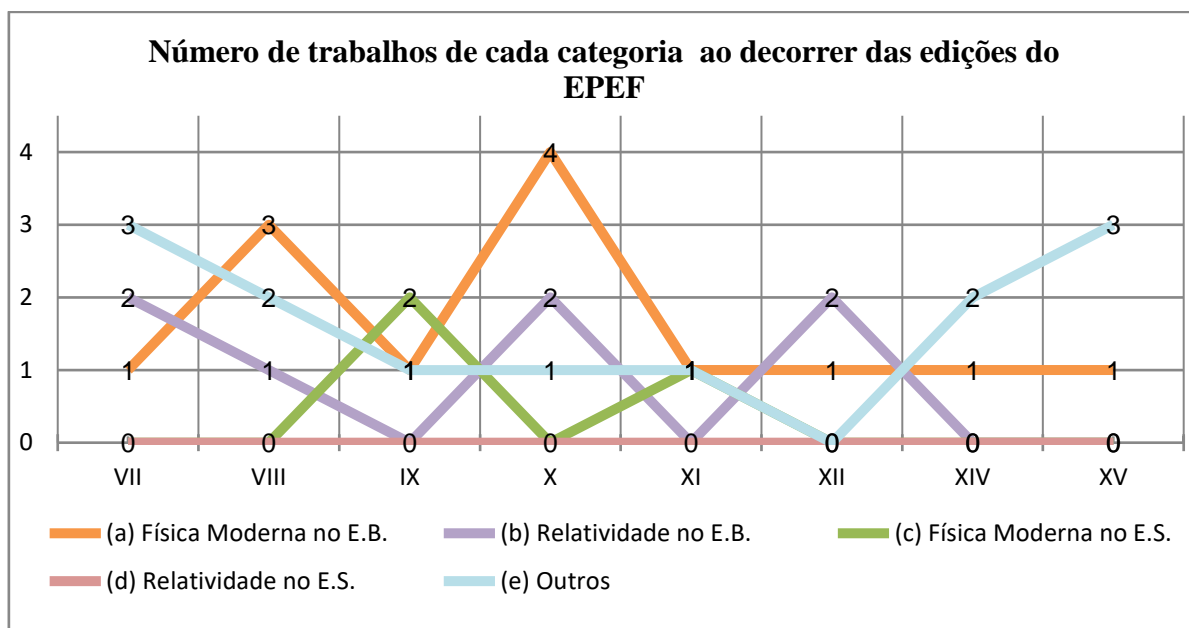


Gráfico 7 - Evolução do Número de trabalhos de cada categoria ao decorrer das edições do EPEF.

O gráfico 7 revela que a temática relatividade no ensino básico é inconstante nas pesquisas em relação às edições do EPEF. Entretanto, o tema Física Moderna, apresenta maior número de trabalho (de VIII até X), apesar da queda nos últimos 9 anos (VI edição de 2008).

Além destes dados, nos debruçamos sobre descritores Sequência Didática, TLS e DBR. Assim como no SNEF, nenhuma pesquisa apresentou os termos Teaching-Learning Sequences e Design-Based Research e suas possíveis traduções diretas. Entretanto, encontramos sete trabalhos relacionados à sequência didática. Destes, cinco eram ligados à Física Moderna, porém com os conteúdos que diferiam da Teoria da Relatividade.

Desta forma, cabe aqui uma importante reflexão. Ao analisarmos o SNEF, que tem como principal caracterização a apresentação de trabalhos e socialização de professores em exercício, futuros professores e pesquisadores, e o EPEF, evento nacional em pesquisa de maior importância na área de Ensino de Física, ficou evidente que as pesquisas focadas no Ensino Superior acerca da Teoria da Relatividade são pouco realizadas. Tal comportamento é extremamente preocupante, pois a busca pela inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Básico, há tanto tempo desejada (GIL et al, 1987:1988; BAROJAS, 1988; PEREIRA et al, 1997; TERRAZZAN, 1992; ZANETIC, 1999; BROCKINGTON, 2005), fica prejudicada se não há investigações suficientes para tratá-la no Ensino Superior. Como esperar e desejar que o público que realiza e participa desses eventos seja capaz de ensinar tais conteúdos no Ensino Básico se pouco conhecimento se produz sobre como formar os futuros docentes neste conteúdo específico? O foco dos trabalhos em Ensino de Física deve ser mesmo no Ensino Básico?

Deste modo, essa pesquisa caminha no sentido contrário ao que pode-se perceber das análises dos trabalhos apresentados nos principais eventos da área no país. Isso nos leva a indagar a representatividade desta temática no ensino e no currículo escolar. Ao mesmo tempo, é importante frisar que, atualmente, a Base Nacional Comum Curricular, BNCC, está sendo implementada e irá reger os currículos nacionais. Todavia, o texto base, voltado ao ensino médio, não compreende a física moderna (ou contemporânea), tampouco, relatividade em seu escopo, algo que é extremamente prejudicial para o ensino de física, visto que, a inserção de física moderna, de maneira real e concreta, é discutida há mais de 30 anos (GIL et al, 1987:1988; BAROJAS, 1988; PEREIRA et al, 1997; TERRAZZAN, 1992; ZANETIC, 1999; BROCKINGTON, 2005). Desta forma, se um documento oficial, que rege o currículo nacional, despreza o conteúdo físico do século XX, instantaneamente, faz com que os alunos sejam privados dos conhecimentos que mudaram a nossa compreensão da natureza, realidade, tecnologias e forma de compreender a natureza.

De maneira frontalmente oposta à BNCC, o documento que orientava até então a educação e ensino de física no Brasil, os PCN+, trazem explícitos princípios que valorizavam a abordagem da Física Moderna e Relatividade no Ensino Médio:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria[...] e [...]será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo da matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico. (BRASIL, 2002, p. 19)

Esses apontamentos são orientações de conceitos que devem ser trabalhados para que o aluno possa atingir os objetivos e habilidades, por exemplo, da unidade 5 – Matéria e Radiação, com tópicos como:

Unidade 5.3: Energia nuclear e Radioatividade

- compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos;
- conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas 30 transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina;
- avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes.

(BRASIL, 2002, p. 29-30)

Além disso, outro exemplo no próprio PCN+ é a competência geral III.2 “*CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA CULTURA CONTEMPORÂNEA Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea*” da seção III. “*CONTEXTUALIZAÇÃO SÓCIO-CULTURAL*”. Nela nós podemos encontrar:

Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por



exemplo, como a relatividade ou as ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia. (BRASIL, 2002, p. 15)

Com isso, devemos refletir sobre os aspectos e os rumos das pesquisas em ensino superior e/ou física moderna, em especial, teoria da relatividade. Pois, além do que concluímos em nossa revisão, é imprescindível indagar como esse tipo de nicho será afetado com introdução da BNCC que, até o momento, possui um texto que não faz qualquer menção ao ensino de física moderna. Algo bastante prejudicial, pois como vimos, seu antecessor, os PCN+, indicava e ressaltava a relevância necessária para que esses conteúdos sejam trabalhados nas salas de aulas.

### 1.2.3 Google Acadêmico®

Simpósios e encontros nacionais são ótimos ambientes de trocas de experiências. Além disso, nesses locais, os frequentadores podem compreender e conhecer o panorama do campo de pesquisa e suas contribuições atuais. Portanto, é inegável que SNEF e EPEF compilem as tendências e preocupações da comunidade de pesquisadores em ensino de física. Todavia, parte do material produzido por essa comunidade não se encontra nesses eventos, mas em periódicos de revista. Com isso, nossa revisão bibliográfica não limitou-se aos encontros nacionais, visto que, como Boote e Beile (2005) apud Randolph (2009) apontam, devemos compreender de maneira mais profunda possível o campo de pesquisa no qual estamos inseridos ou que gostaríamos de participar. Ou seja, reconhecer nossos pares e o que já está sendo feito.

Desta forma, utilizamos o Google Scholar ou Google Acadêmico como portal para acesso aos periódicos nacionais e internacionais. Assim, por meio das ferramentas disponíveis no site, pesquisamos por palavras-chaves, em intervalos de tempo definidos. Fizemos isso com intuito de conhecer os trabalhos mais relevantes e contemporâneos, como também, a evolução da área nos últimos 20 anos.

De início, o primeiro termo pesquisado foi “Teaching-Learning Sequences”. É importante destacarmos que, em todas as etapas, o modo de classificação da pesquisa foi por relevância (ferramenta disponível na plataforma e método de classificação do site), além de sempre alterarmos entre páginas em português e páginas em qualquer idioma (para um recorte internacional). Por isso, devido à natureza estrangeira da TLS, é impossível não remetermos que a origem, inicialmente, dos resultados mais relevantes e pioneiros pertencem aos agentes propulsores dessa temática. Com isso, para termo pesquisado, no intervalo de tempo de 1997 – 2016, os trabalhos de Méheut (2004) Méheut e Psillos (2005), Lijnse (2004) e Tiberghien et al. (2005) figuram como os de maior destaque, haja visto que são referência básica da área.

Nosso recorte buscou compreender como a área se desenvolveu nos últimos 20 anos (no Brasil e fora dele). Assim, no recorte de 1997 a 2006 chegamos ao um montante de 952 em qualquer idioma e 92 em português, ou seja, um número de trabalhos bastante considerável. Ademais, tivemos o zelo de evidenciar como esses resultados estão dispostos nos intervalos de tempo de 1997 a 2006, 2007 a 2011, 2012 a 2015 e no ano de 2016. Assim, chegamos ao resultado da tabela 1.

Termo “Teaching-Learning Sequences”		
Período	Quantidade de Resultados (Qualquer idioma)	Quantidade de Resultados (Páginas em português)
1997-2006	153	1
2007-2011	278	17
2012-2015	416	51
2016	105	10
1997-2016	952	79

Tabela 1 - Total de trabalhos obtidos com o uso de TLS

A partir dela, conseguimos compreender que nos primeiros dez anos pesquisados houve um movimento inicial de expansão e consolidação, visto que a maioria das referências principais é oriunda do final deste período. Além disso, se compararmos a produção científica do período como as demais, conseguimos ver o crescimento no número de trabalhos produzidos, pois dos anos 2012 a 2016, no caso global, temos 521 artigos produzidos contra 431 trabalhos no período de 1997 a 2011. Esse crescimento, como mostrou o levantamento, não foi acompanhado pelas produções nacionais. Pois, enquanto no âmbito global há uma expansão nos primeiros períodos, as pesquisas em português mostram uma grande insipiência, principalmente, nos primeiros dez anos de nosso recorte (1997 a 2006).

Todavia, do ano de 2012 até 2016, o cenário nacional acerca da TLS vem se mostrando promissor. Isto é bastante animador, visto que, ao contrário dos encontros e eventos nacionais, aparentemente, há um movimento crescente dessa temática de pesquisa. Por conseguinte, semelhante à forma como surgem Méheut (2004) Méheut e Psillos (2005), Lijnse (2004) e Tiberghien et al. (2005), tal crescimento nacional, despertar a origem de referências básicas em português. Desta forma, possibilitando, cada vez mais, a expansão do uso de TLS, graças a esses agentes propulsores na pesquisa de ensino de ciências nacional. Assim, selecionando os mais relevantes, identificamos que o pesquisador, já bastante consolidado nacionalmente no ensino de ciências, Maurício Pietrocola possui grande atuação no uso brasileiro de TLS. Concluimos isso, pois ele possui participação em seis (PIETROCOLA, 2008; LAWALL, 2010;

NICOLAU et al., 2013; RODRIGUES et al., 2012; PESSANHA E PIETROCOLA, 2013; KNEUBIL, 2014) dos oitos trabalhos destacados (os demais são Giordan et al., 2011; Colombo, 2013).

Embora seja possível destacar as referências básicas em português e no mundo, gostaríamos de um recorte ainda mais específico. Por isso, com intuito de aprofundar cada vez mais a busca, compilamos ao termo “Teaching-Learning Sequences” as áreas de atuação da pesquisa, “science education” e o posteriormente “physics”. Essa filtragem maior dos trabalhos permite que identifiquemos as referências mais específicas ao nosso tema de pesquisa, como defende Randolph (2009). Portanto, da combinação de termos “Teaching-Learning Sequences” + “science education”, obtivemos 631 resultados para qualquer idioma e 54 para português no período de 1997 a 2016. Desta forma, os demais intervalos de tempo são apresentados na *tabela 2* a seguir.

TLS + Science Education		
Período	Qualquer idioma	Páginas em português
1997-2006	76	0
2007-2011	183	11
2012-2015	303	39
2016	69	4
1997-2016	631	54

Tabela 2 - Número de trabalhos obtidos com os termos TLS + Science Education

Após o refinamento da pesquisa, as tendências observadas na *tabela 1* mantiveram-se na *tabela 2*. Esse fato é deveras importante, pois permite concluirmos que as expansões e as tendências de crescimento no uso TLS estão também presentes no ensino de ciências, nos âmbitos globais e nacionais. Outro fato importante é que referências destacadas no recorte anterior se mantem, ou seja, os trabalhos mais relevantes, a princípio, são oriundos da área do ensino de ciências.

Desta forma, buscando resultados mais específicos, refinamos ainda mais a busca com o termo “physics”. Portanto, no período de 1997 a 2016, utilizando as palavras “Teaching-Learning Sequences” + “science education” + “physics”, obtivemos 456 resultados para qualquer idioma e 23 para português. Por conseguinte, para os demais períodos criamos a *tabela 3*.

TLS + Science education+ Physics

Período	Qualquer idioma	Páginas em português
1997-2006	51	0
2007-2011	128	6
2012-2015	222	14
2016	55	3
1997-2016	456	23

Tabela 3 - Número de trabalhos obtidos com os termos TLS + Science Education + Physics

Da mesma forma, as tendências de crescimento das *tabelas 1 e 2*, mantém-se na *tabela 3*, ademais, as referências destacadas anteriormente também são as mesmas com a inserção dos trabalhos de Viiri e Savinainen (2008), Kortland e Klaassen (2010), Viennot (2010), Arriasecq e Greca (2012), Psillos e Kariotoglou, (2016). Ademais, ao final dos três recortes (e das tabelas 1,2 e 3) podemos destacar a influência do ensino de ciências e o ensino de física que representam uma considerável parcela no uso da TLS.

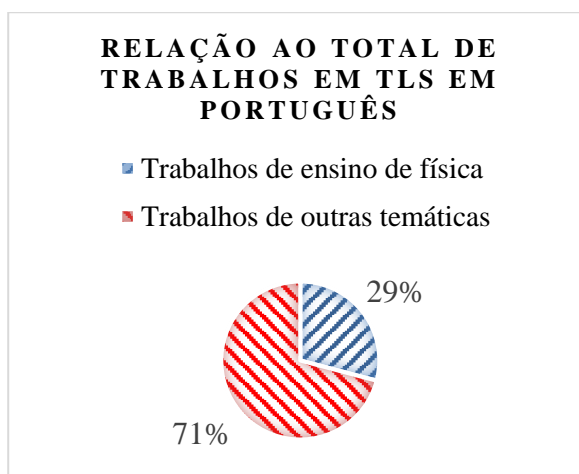


Gráfico 8 - Relação de Trabalhos com TLS em português



Gráfico 9 - Relações de Trabalhos com TLS no mundo

Desta forma, a partir dos gráficos anteriores, é possível entender que os trabalhos em ensino de física possuem grande influência, tanto no Brasil, quanto no exterior. Além disso, quando olhamos só para relação aos trabalhos em TLS no ensino de ciências, essa influência é muito maior, pois as pesquisas em ensino de física representam 43% (Brasil) e 72% (Global) das pesquisas em ensino de ciências com TLS.

Da mesma maneira que buscamos compreender o campo de pesquisa relacionado a TLS, fizemos o mesmo para a DBR. Para isso, realizamos uma revisão usando Google Acadêmico seguindo os mesmos parâmetros. Ou seja, analisamos os últimos 20 anos (no Brasil e fora dele) o termo “Design-Based Research” (mais tarde refinado com a adição dos termos “science education” e “physics”) e obtivemos 14500 resultados de páginas de quaisquer idiomas e 294 resultados para páginas em português. Ademais, com intuito de entendermos a evolução da quantidade de trabalhos na área, também explicitamos os intervalos de tempo de 1997 a 2006, 2007 a 2011, 2012 a 2015 e no ano de 2016. Portanto, obtivemos a *tabela 4*.

Design-Based Research		
Período	Geral	Brasil
1997-2006	1050	3
2007-2011	4210	49
2012-2015	7330	164
2016	2410	78
1997-2016	14500	294

Tabela 4 - Total de trabalhos obtidos com uso de DBR.

Em um primeiro momento, a evolução da quantidade de trabalhos com o uso da DBR mundialmente é bastante similar ao da TLS. Todavia, quando voltamos nosso olhar para o desenvolvimento nacional não há essa similaridade, visto que, é evidente que os estudos brasileiros representam uma parcela ínfima dos estudos globais. Ou seja, se recordamos a evolução nacional da TLS, ainda que incipiente, já apresentamos números que mostram uma influência no campo de pesquisa, porém, para DBR, nossa contribuição ainda é muito pequena. Desta forma, buscamos entender cenário do ensino ciências em relação a DBR. Para isso, refinamos nossa busca com os termos “Teaching-Learning Sequences” e “science education”.

Design-Based Research + Science Education		
Período	Geral	Brasil
1997-2006	336	0
2007-2011	1290	23
2012-2015	2390	42
2016	712	11
1997-2016	4740	76

Tabela 5 - Total de trabalhos obtidos com uso de DBR + Science Education.

Na *tabela 5*, fica mais claro o quanto nossa pesquisa nacional em ciências desconhece ou não utiliza a metodologia DBR, pois não há trabalhos nos primeiros 10 anos do período de 1997 a 2006. Precisamente, o primeiro trabalho a relacionar a combinação de termos é o de Ramos e Struchiner (2008). Todavia, essa pesquisa não está relacionada ao ensino de ciências especificamente, mas ao ensino de medicina e psicologia. Os primeiros trabalhos relevantes que utilizam DBR no ensino de ciências são de Baptista (2011) e Rodrigues et al. (2012), ou seja, bastante recentes. Ademais, pelo montante de 4740 (no período de vinte anos), o número de pesquisas em ensino de ciências com a DBR, globalmente, está evoluindo, porém possuem representatividade menor do que em relação à TLS. Por fim, partimos para o refinamento que compila nosso campo específico, assim, utilizamos os termos “Teaching-Learning Sequences” + “science education” + “physics”.

Design-Based Research + Science education+ Physics		
Período	Geral	Brasil
1997-2006	122	0
2007-2011	493	2
2012-2015	962	9
2016	258	2
1997-2016	1810	13

Tabela 6 - Total de trabalhos obtidos com os termos DBR + Science education+ Physics

Desta forma, ao contrário do que evidenciamos com TLS, as pesquisas em ensino de física com o uso da DBR não possuem tantas ocorrências, nem globalmente e muito menos em português. Por isso, devemos incentivar esse tipo de metodologia, haja visto que, em vinte anos, foram produzidos 1810 trabalhos e somente 13 em português. Ou seja, pelo montante global (14500 para DBR e 1810 para DBR no ensino de física) essa metodologia é bastante utilizada, porém, a produção é nacional é ínfima perto desses números. Por conseguinte, os textos retirados desse recorte, em sua grande maioria, são referências estrangeiras. Assim, separamos

os trabalhos de Drisostes (2005), Silva, (1998) (Pesquisa em ensino de matemática, por isso não apareceu no refinamento da *tabela 5*), Hastenreiter (2015), Juuti e Lavonen, (2012), Cupaioli (2016), e o já citados na TLS, Rodrigues et al. (2012), Nicolau et al. (2013) e Pessanha e Pietrocola (2013).

#### 1.2.4 ERIC

Após análise do campo de pesquisa no Google Acadêmico, nos focamos em outras fontes que nos permitissem uma compreensão mais específica de nosso interesse de pesquisa no universo do Ensino de Física. O primeiro lugar foi o *ERIC* – Institute of Education Science, um repositório internacional de pesquisas da área. Devido ao sistema de busca e as ferramentas de filtragem serem em inglês, necessitamos mudar os parâmetros de procura.

O primeiro termo a ser pesquisado foi Teaching-Learning Sequences. Para esse termo, foram encontrados 3.495 resultados. Desse total, 1.382 foram publicados nos últimos 20 anos. Devido à facilidade que as ferramentas de busca do repositório trazem, podemos entender a evolução desse termo em diversos aspectos.

Teaching-Learning Sequences	
Período	Qualquer idioma
1997-2007	472
2007-2012	481
2012-2016	304
2016	109
Até o Início de 2017	16

Tabela 7 - Evolução do número de trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences.

Assim, podemos entender que a partir de 2007 o número de pesquisas, praticamente, dobra. Se analisarmos, só entre 2007 e 2012, já há mais resultados que os 10 primeiros anos do intervalo de tempo recortado. Além disso, ao utilizar outros descritores disponíveis na plataforma de pesquisa, refinamos ainda mais a busca. Desta forma, utilizamos os termos Science Education e Physics. Ao fazer essa lapidação dos resultados, foi possível ver o número de trabalhos diminuir para uma amostragem menor, como podemos ver a seguir. Para isso, utilizamos os descritores: *1998* para pesquisas a partir desta data; *Science Education* para delimitar o campo das Ciências e *Physics* para focarmos na área de interesse desse trabalho.

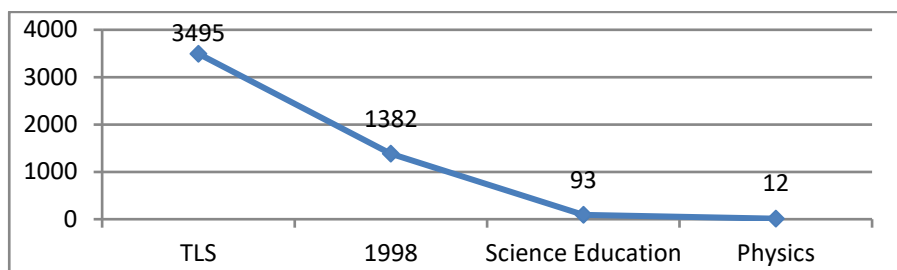


Gráfico 10 - Redução do número de resultados em relação ao número de descritores utilizados.

Ao refinarmos nossa busca adicionando descritores a tendência é que o número de resultados diminua, como é visto no *gráfico 10*. Tal comportamento não é exclusividade do termo Teaching-Learning Sequences, ao utilizarmos outro descritor, Science Education, o número de trabalhos continua diminuindo, logicamente, isso acontece, pois, cada vez mais, estamos refinando a maneira de pesquisarmos. No período desde 2012 até 2017, já temos, praticamente, a mesma quantidade de pesquisas em relação ao intervalo de tempo entre 2007 e 2012 (com o descritor Science Education). Com isso, podemos afirmar que, aproximadamente, já dobraram o número de trabalhos nos últimos 10 anos. Esse montante leva-nos a vislumbrar uma tendência de crescimento no interesse neste tema, no mundo do ensino de ciências. Isso vai ao encontro dos apontamentos de Viiri & Savinainen (2008). Os autores concluem que o desenvolvimento de sequências baseadas na TLS é feito há mais de 20 anos, porém, ultimamente tem chamado mais a atenção dos membros da comunidade em ensino de ciências (VIIRI & SAVINAINEM, 2008)

Teaching Learning Sequences + Science Education.	
Período	Qualquer idioma
1997-2007	36
2007-2012	30
2012-2016	19
2016	7
Até o Início de 2017	1

Tabela 8 - Evolução do número de trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences + Science Education.

É interessante destacar as origens dos trabalhos. Do total de 93 trabalhos, apenas 35 discriminam sua origem, sendo a maioria oriunda dos Estados Unidos (12). Além disso, 10 trabalhos têm origens europeias, 5 da Oceania, somente um representante da América do Sul e este não é do Brasil. Esse fato vai ao encontro ao do que foi visto nos SNEFs e EPEFs, revelando que o campo de pesquisa brasileiro não conhece ou não se interessa pelo uso desta metodologia de pesquisa em ensino de ciências. Porém, é contrário ao crescimento visto na revisão dos periódicos dispostos no Google acadêmico.



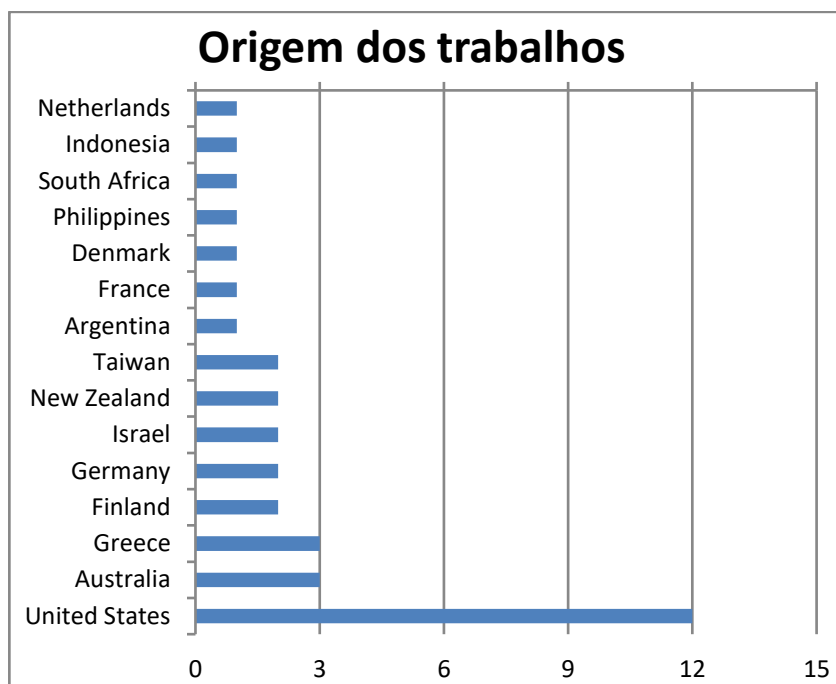


Gráfico 11 - Origem dos trabalhos relacionados à Teaching Learning Sequences + Science Education.

Por fim, temos o último descritor, Physics. A partir dele é possível vislumbrar a relação do que já foi feita com nossa pesquisa. Surpreendentemente, das 12 pesquisas, 2 foram realizadas entre os anos de 1997 a 2007, 6 no período de 2007 até 2012, 3 no intervalo entre 2012 e 2017 e somente 1 no ano de 2017. Analisando esses números comparados em relação ao restante já visto, conclui-se que essa metodologia ainda é nova na área do Ensino de Física. Além do desafio de sermos um dos poucos que trabalham com TLS no Brasil, há outro obstáculo para nossa pesquisa, pois dos 12 trabalhos, nem todos são focados explicitamente nos conteúdos da Física. Aqueles voltados a temas físicos eram relacionados à cinemática, conservação de energia ou Leis de Newton. Ou seja, nenhum abordava Física Moderna ou Relatividade.

Após a análise dos resumos, seis trabalhos foram selecionados. Desta seleção, um é referência para os demais. O trabalho de Méheut & Psillos (2004), aparece como base teórica nas outras pesquisas em forma de citação. Nesse trabalho, temos uma grande visão do que a TLS pode ser e seu potencial, por isso, é referência para outros pesquisadores. Assim, iremos explorá-lo melhor no capítulo sobre o referencial teórico dessa dissertação. Ademais, não somente esse trabalho, como Méheut (2004), Lijnse (2004) e Tiberghien et al. (2005) também são referenciados com frequência.

Ao procurar no repositório Eric o termo Design-Based Research somos apresentados a mais de 2 mil resultados. Análogo ao que foi feito com o termo Teaching-Learning Sequences, utilizamos os descritores disponíveis para refinar e focar nossa busca. Infelizmente, o termo

Science Education desta vez não estava disponível para ser utilizado. Desta forma, realizamos uma nova busca, colocando manualmente conexão entre os termos Design-Based Research e Science Education. Com isso, obtivemos 607 resultados.

Partindo desse novo termo, utilizamos os descritores 1998 (para pesquisas a partir deste ano) e Science Education (que nesse momento estava disponível para uso). Com isso, os resultados das pesquisas passaram de 2.450 para apenas 3 trabalhos como segue a tabela abaixo:

Teaching-Learning Sequences	
Descritor utilizado	Número de resultados obtidos
DBR	2495
DBR + Science	607
DBR + Science + 1998	568
DBR+ Science + 1998 + Science Education	95
DBR+ Science + 1998 + Science Education + Physics	3

Tabela 9 - Redução do número de resultados em relação ao número de descritores utilizados

Além disso, quando olhamos os trabalhos relacionados ao termo Science Education, nos últimos 20 anos, percebemos que já foi triplicado o número de pesquisas em relação ao período entre 1997 e 2007. Além disso, só no intervalo de 2012 a 2016 o número de trabalhos já é maior do que os 10 primeiros anos do recorte temporal. Esses dados dão indícios que, assim como TLS, o uso desse tipo de metodologia está crescendo na área do ensino de ciências. Para confirmar tal afirmação, ao analisarmos o número de trabalhos publicados entre 2012-2016 (24) constatamos a proximidade do montante publicado a partir de 2016 (16).

DBR + Science Education.	
Período	Qualquer idioma
1997-2007	22
2007-2012	33
2012-2016	24
2016	15
Até o Início de 2017	1

Tabela 10 - Relação de publicações em Science Education nos últimos 20 anos.

Dos 33 trabalhos que possuem origem declarada, 11 são dos EUA, 11 da Europa, 5 da Oceania e, novamente, um sul-americano que, novamente, não é brasileiro.

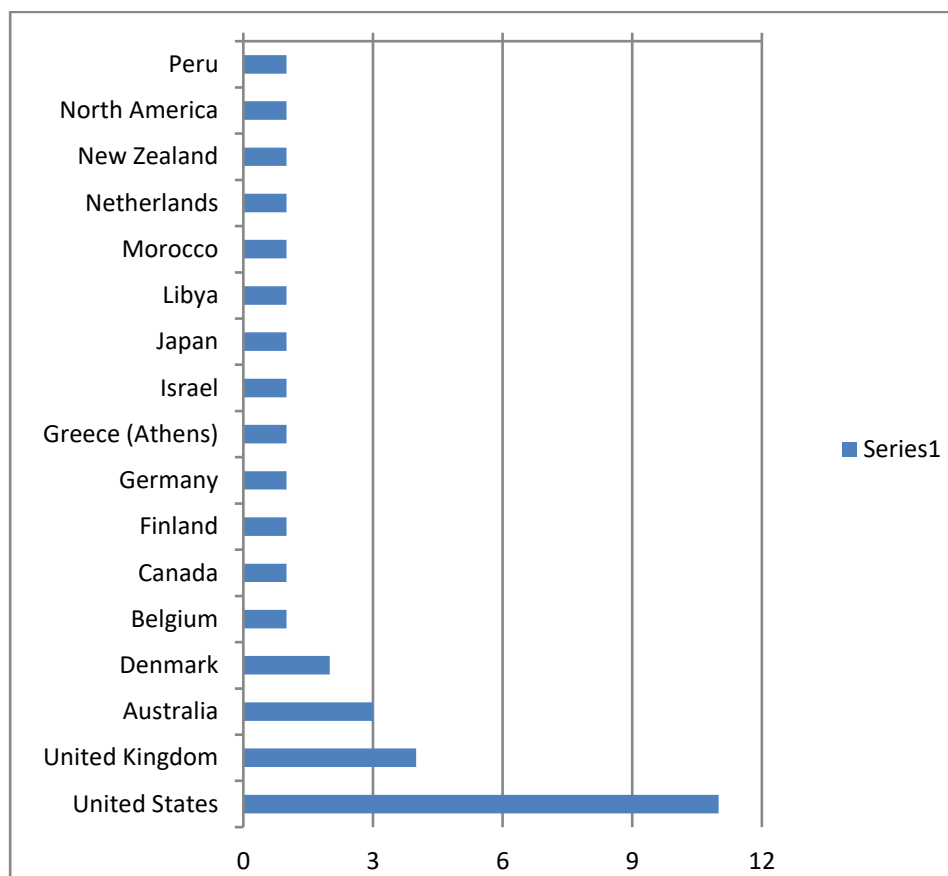


Gráfico 12 - Distribuição de publicações em Science Education nos últimos 20 anos por região.

Infelizmente, assim como na análise da TLS, o descritor Physics não estava disponível. Deste modo tivemos que, manualmente, analisar os resumos dos 95 trabalhos envolvidos em Science Education e ver qual deles relacionavam com a Física. Assim, destes 95 trabalhos, quatro foram selecionados, The Design-Based Research Collective (2003), Kariotoglou et al. (2008) Savinainen et al. (2017), Pool e Laubscher (2016). Tal escolha foi feita a partir da leitura dos títulos e resumos disponíveis no repositório online.

Há trabalhos como o realizado por Ruthven et al. (2009) que fazem uma reflexão em torno das abordagens utilizadas e como elas se estruturam em atividades de aprendizado e ensino. Os autores fazem análises de diferentes aspectos do desenvolvimento de sequências didáticas. Da mesma forma que fizemos com os trabalhos selecionados com o termo TLS, exploraremos melhor esse trabalho no capítulo acerca do referencial teórico.

Por fim, devemos entender como se encontra o campo de pesquisa em que essa dissertação pretende inserir-se. Assim, como vimos em nossa revisão, a abordagem TLS e a metodologia DBR não gozam de um alto número de pesquisas nos grandes eventos nacionais de ensino de física. Entretanto, por meio do Google Acadêmico, pudemos compreender que, em português, há um aumento no número de trabalhos com TLS e um pequeno aumento em

DBR. Desta forma, infelizmente, esse crescimento ainda não reverbera nos escopos de trabalhos e público do EPEF e SNEF. Além disso, outro fator bastante intrigante são poucas pesquisas de voltadas para o ensino superior e para o ensino de teoria da relatividade que pudemos revisar nestes eventos.

Desta forma, essa pesquisa surge seguindo uma pequena tendência dos periódicos em português e focando em uma área pouco explorada que é a pesquisa em ensino voltada à formação superior. Portanto, visamos objetivos e resultados, ou seja, estruturas didáticas coesas e robustas, capazes de influenciar novas pesquisas e pesquisadores nas temáticas trabalhadas no escopo dessa dissertação. Mas, antes de investigarmos afundo os estruturantes das sequências didáticas, nós buscamos entender o panorama vigente sobre a formação de professores em relatividade no Brasil.

### 1.3 RELATIVAMENTE FORMADO

Como uma das motivações dessa pesquisa é justamente a falta de contato de uma disciplina de Relatividade na graduação do mestrando, desejamos revisar como os cursos de ciências e física (bacharel ou licenciatura) pelo Brasil disponibilizam ou não esses conteúdos em suas grades. É importante destacar que foi feita uma breve revisão, pois o trabalho sistemático e avançado acerca desse assunto demandaria outra pesquisa de mestrado. Dessa forma, analisamos outros cursos, pois segundo Randolph (2009), os pesquisadores devem conhecer o campo de pesquisa e a situação atual dos problemas enfrentados. Assim, separamos as universidades e faculdades seguindo a distribuição do *guia do estudante*<sup>7</sup> para as melhores universidades por região.

#### 1.3.1 Sul

Para iniciarmos a discussão, apresentamos as faculdades selecionadas da região Sul, são elas: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Universidade Federal do Paraná – Curitiba (UFPR- C); Universidade Federal do Paraná – Jandaia (UFPR- J); Universidade Federal do Paraná – Matinhos (UFPR- M) e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

Tanto para essa região, quanto para outras, analisamos faculdades públicas e privadas. Nossa análise baseia-se na existência da disciplina de Teoria da Relatividade (Restrita e/ou Geral) na matriz curricular dos cursos de Licenciatura em Física ou Ciências. Ademais,

---

<sup>7</sup> <https://guiadoestudante.abril.com.br/blog/melhores-faculdades/conheca-as-melhores-universidades-do-brasil-por-regiao/>

pesquisamos se as disciplinas são ofertadas de maneiras optativas (OP) ou obrigatórias (OB) para os cursos que a possuem. Desta forma, o primeiro recorte que temos é:

Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
UFRGS	Pública	Sim	Não	-	Não	-
UFSC	Pública	Sim <sup>1</sup>	Sim	OP	Não	-
UTFPR	Pública	Sim	Sim <sup>2</sup>	OB	Sim <sup>3</sup>	Não
UFPR-C	Pública	Sim	Sim	OP	Não	-
UFPR-J	Pública	Não	-	-	Sim <sup>4</sup>	Não
UFPR-M	Pública	Não	-	-	Sim <sup>5</sup>	Não
PUCRS	Particular	Sim	Sim	OB	Não	-

Tabela 11 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região

OP- Optativa; OB- Obrigatória.

Antes de discutirmos os resultados, necessitamos contextualizar algumas divergências e observações que surgiram. Assim, <sup>1</sup> ao que consta, o curso de bacharelado e licenciatura não são desvinculados um do outro na UFSC. Além disso, na <sup>2</sup>UTFPR, a disciplina ofertada é “*Fundamentos da Teoria da Relatividade E Física Quântica*”, ou seja, não é explicitamente uma disciplina de relatividade, porém não pode ser excluída.

As observações <sup>3</sup>, <sup>4</sup> e <sup>5</sup> são relativas à natureza dos cursos de ciências. Desta forma, <sup>3</sup> Curso de Licenciatura Interdisciplinar em Ciências da Natureza, <sup>4</sup> Licenciatura em Ciências Exatas e <sup>5</sup> Licenciaturas em Ciências. Ainda que sejam diferentes nomes e constituição de cursos, todas as graduações citadas nesse parágrafo não apresentam uma disciplina de Relatividade em sua matriz curricular.

Já feitas as ressalvas, devemos refletir acerca do quadro acima. Portanto, para a região sul, as licenciaturas voltadas às ciências que foram selecionadas não possuem uma disciplina específica de Relatividade. Entretanto, das 5 licenciaturas em Física, quatro delas apresentam essa disciplina em sua matriz curricular, sendo que PUCRS e UTFPR de forma obrigatória e as demais optativas. Por fim, UFRGS, não apresenta nenhum tipo de disciplina de Relatividade em sua grade para os licenciandos de Física.

### 1.3.2 Sudeste

Para todas as regiões adotamos o mesmo sistema de busca e classificação. Desta forma, nesta região Brasil, selecionamos as faculdades: Universidade de São Paulo (USP); Universidade de São Paulo - São Carlos (USP-SC); Universidade Estadual Paulista (UNESP); Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Universidade de Campinas (UNICAMP); Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). Com isso, obtivemos os seguintes dados:

Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
USP	Pública	Sim	Sim	OB	Sim <sup>6</sup>	Não
USP-São Carlos	Pública	Não	-	-	Sim <sup>7</sup>	Não
UNESP	Pública	Sim	Sim/Não <sup>8</sup>	OP/-	Não	-
UFMG	Pública	Sim	Sim	OB	Não	-
UNICAMP	Pública	Sim	Não	-	Sim <sup>9</sup>	Não
UNIFESP	Pública	Não	-	-	Sim	-
PUC-Rio	Particular	Não	-	-	Não	-

Tabela 12 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região

Assim como na região Sul, algumas observações dos dados foram destacadas. Dentre elas, a peculiaridade <sup>8</sup> que serve de ponto de partida para uma reflexão do processo de formação do professor. Isso ocorre, pois a UNESP disponibiliza a matriz atual e a extinta há pouco tempo. É curioso que na matriz curricular “extinção”, a disciplina de Relatividade está presente como optativa, entretanto, não está mais disponível na matriz curricular vigente.

Com relação ao <sup>6,7</sup> e <sup>9</sup> temos diferenças nos cursos. Na USP existe o curso de Licenciatura em Ciências da Natureza<sup>6</sup>. Porém na USP-São Carlos o aluno pode graduar-se em Licenciatura em Ciências Exatas<sup>7</sup>. Neste curso, o aluno fica em um regime de dois anos de estudos das áreas exatas mais dois anos de habilitação entre Matemática, Química e Física. Por fim, na UNICAMP, temos a Licenciatura Integrada em Física/Química. Nela o estudante irá estudar ambas as áreas do conhecimento. Infelizmente, novamente, as graduações que envolvem as ciências não possuem a disciplina de Relatividade em sua matriz curricular. Isso

é algo que devemos nos atentar, visto que os formados não serão professores de ciências do fundamental, mas habilitados e licenciados para lecionar física no ensino médio.

Por fim, as universidades que dispõem de curso de licenciatura em física, com exceção da UNICAMP e a nova matriz da UNESP, apresentam a disciplina de Relatividade como matéria obrigatória de sua grade.

### 1.3.3 Centro-Oeste

As faculdades selecionadas para essa região foram: Universidade de Brasília (UnB); Universidade Federal de Goiás (UFG); Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Universidade Católica de Brasília (UCB-DF).

Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
UnB	Pública	Sim	Sim <sup>10</sup>	OP <sup>11</sup>	Não	-
UFG	Pública	Sim	Sim	OB	Não	-
UFMS	Pública	Sim	Não	-	Não	-
UCB-DF	Particular	Sim	Sim <sup>12</sup>	OB	Não	-

Tabela 13 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região.

Novamente devemos fazer alguns esclarecimentos ao leitor em relação aos dados. Desta vez, as peculiaridades estão nos conteúdos das disciplinas. Pois, <sup>10</sup> uma é dividida com mecânica quântica (Relatividade e Física Quântica). Além de optativa,<sup>11</sup> aparenta poder ser moldada pelo aluno, desta forma, ele pode escolher entre conteúdos unicamente de quântica ou mesclá-los com relatividade (relatividade e quântica). Por fim, <sup>12</sup> é uma disciplina na qual relatividade e física de partículas se juntam (física relativística e de partículas elementares). Ademais, infelizmente, não encontramos cursos de licenciatura em ciências nas universidades selecionadas. Todavia, todas apresentaram cursos de licenciatura em física, na qual, somente UFMS não possuía a disciplina de relatividade na matriz da graduação. Além disso, UFG foi a única a apresentar a unidade curricular que o conteúdo não era compartilhado com outras áreas da Física Moderna.

### 1.3.4 Nordeste

Para o Nordeste, nossos dados são oriundos das: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal da Bahia (UFBA); Universidade Federal do Ceará (UFC) e Universidade de Fortaleza (UNIFOR-CE). A partir deste momento, e semelhante ao centro-

oeste, às regiões não apresentam cursos de Licenciatura em Ciências nas faculdades selecionadas.

Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
UFPE	Pública	Não	-	-	Não	-
UFBA	Pública	Sim	Sim	OP	Não	-
UFC	Pública	Sim	Não	-	Não	-
Unifor-CE	Particular	Não	-	-	Não	-

Tabela 14 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região.

Como podemos ver a partir da tabela, UFBA e UFC dispõem do curso de Licenciatura em Física. Entretanto, só a primeira apresenta a UC de Relatividade, com caráter optativo, na matriz curricular.

#### 1.3.5 Norte

Por fim, na região norte selecionamos: Universidade Federal do Pará (UFPA); Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA); Universidade da Amazônia (PA) (Unama); Centro Universitário do Estado do Pará (Cesupa).

Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
UFPA	Pública	Não	-	-	Sim <sup>13</sup>	Não
UFRA	Pública	Não	-	-	Não	-
Unama	Particular	Não	-	-	Não	-
Cesupa	Particular	Não	-	-	Não	-

Tabela 15- Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições da região.

Como vemos, o número de licenciaturas é bastante baixo. Somente uma instituição possui um curso de licenciatura em ciências. Entretanto, a graduação em Licenciatura em Ciências, Matemática e Linguagem é voltada para os anos iniciais. Assim, não possui uma disciplina de Relatividade em sua matriz curricular bastante carregada. Com isso, temos resultados nulos de licenciaturas em física e ciências (nível fundamental II e médio) nas faculdades selecionadas da região norte.



### 1.3.6 Brasil

Desta forma, refletimos no âmbito nacional em relação aos resultados encontrados. Das 26 instituições e campus selecionados, 15 apresentam curso de formação de professores de física.

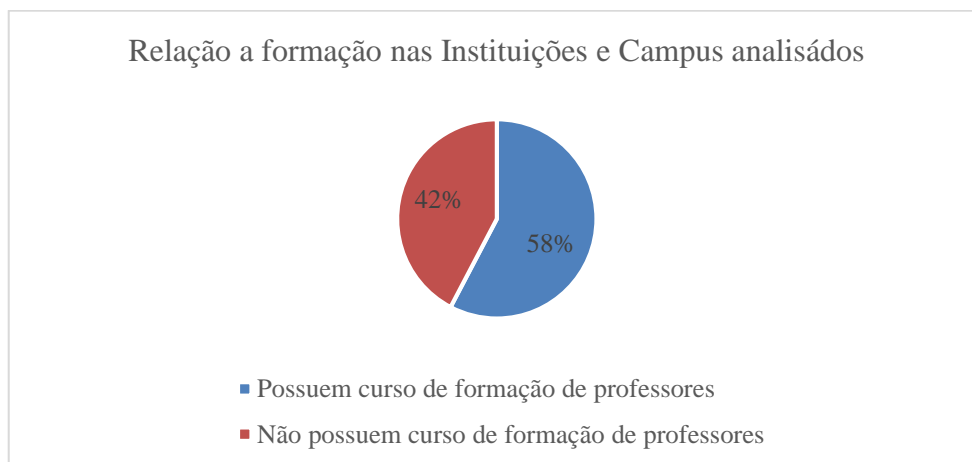


Gráfico 13 - Porcentagem de instituições que possuem curso de licenciatura em física ou ciências.

Ao mesmo tempo, dentro destes 58%, 10 licenciaturas em física apresentam a disciplina de relatividade na matriz curricular (6 obrigatórias e 4 optativas). Por outro lado, esse panorama muda ao relacionarmos os dados para a formação de professores de ciências. Do total de universidades selecionadas, somente 7 possuem algum tipo de licenciatura em ciências, ou seja, menos de 27%. Além disso, nenhuma das formações para professores de ciências possuem uma disciplina de Relatividade em sua matriz curricular.

Esses números nos levaram a indagar sobre a adequação entre a formação dos professores de ciências e o que aparece prescrito nos documentos oficiais que regem a Educação no país. Ademais, é importante salientar a diferença de concepção de natureza que a Teoria da Relatividade traz, pois conceitos cristalizados de Tempo e Espaço são profundamente alterados. Essas diferenças contribuem para uma discussão rica entre a Física Moderna e Clássica e a evolução e desenvolvimento das Ciências e Método Científico. Assim, ao mesmo tempo que os documentos oficiais reiteram a importância do ensino desse conteúdo, gerados a partir de pesquisas que apontam para a necessidade do tratamento da Física Moderna no Ensino Médio, nossos dados revelam que os cursos de graduação, especialmente as licenciaturas, não fornecem a formação adequada para isso. Ou seja, há uma necessidade para que esse conteúdo seja dado em sala de aula, advinda de uma “prescrição” de pesquisas em Ensino de Física (TERRAZZAN, 1992; ZANETIC, 1999; BROCKINGTON, 2005; SIQUEIRA, 2006) e órgãos oficiais, mas sem o suporte teórico o futuro professor se vê jogado à sua própria sorte se optar por trabalhar o tema na escola.

Além disso, os conceitos de espaço-tempo e dilatação temporal são sempre utilizados em filmes Sci-fi (filmes de ficção científica). Assim, além da falta do conhecimento e da impossibilidade de desenvolver a forma de pensamento característica da física moderna, esse professor fica sem amparo para responder eventuais perguntas em relação aos termos que aparecem no cinema ou mesmo funcionamento de um GPS. Por exemplo, o vencedor do Oscar de melhores efeitos especiais de 2015, *Interestelar*, é um filme que teve alcance e divulgação gigantesca (arrecadou 677.463.813 de dólares no mundo)<sup>8</sup>. Seu enredo traz conceitos das Teorias da Relatividade Especial e Geral. Além disso, devido ao acesso cada vez maior da sociedade à internet e às tecnologias, os estudantes estão sempre em contato com algo que remeta à Relatividade, como a Astrofísica que é um tema bastante utilizado em seriados, filmes e na Divulgação Científica. Ademais, o maior contato pode ser oriundo dos smartphones. Aplicativos de saúde, check-in de redes sociais, Google Maps e Waze (além do Google Earth<sup>®</sup> nos desktops) utilizam o GPS do celular, desta forma, para explicar o funcionamento correto dessa tecnologia, conhecimentos de Relatividade são imprescindíveis. Portanto, o professor que não teve acesso a esses conteúdos em sua formação, acabará passando por dificuldades para trabalhar esses tópicos que fazem parte de nossas tecnologias e sociedade cotidiana.

Por fim, muitas das licenciaturas analisadas possuem uma habilitação de física que possibilitam que o graduando leccione no ensino médio. Por conseguinte, a falta do estudo sistemático desse tipo de conteúdo, oferecido pelas Instituições de Ensino, acarreta uma formação bastante frágil em física moderna do futuro docente. Além disso, a falta de contato com um dos temas mais complexos da Física prejudica o aluno de compreender o mundo a partir de outra visão muito mais profunda do que aquela construída a partir da Física Clássica. Ademais, esta ausência de conteúdo também limita a compreensão de fenômenos importantes como efeito Compton ou o entendimento da Física de Partículas, impossibilitando o professor de entender os conteúdos intrigantes e fascinantes da descrição física da Natureza. Desta forma, essa pesquisa de mestrado mostra-se bastante relevante, pois centra esforços em um terreno pouco explorado, o ensino de relatividade no ensino superior para licenciaturas de ciências e física.

---

<sup>8</sup> <http://www.boxofficemojo.com/movies/?id=interstellar.htm> <acesso dia 18 de janeiro de 2018>

Nº	Região	Universidade	Sigla	Tipo	Possui curso de Licenciatura em Física?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?	Característica da disciplina	Possui curso de Licenciatura em Ciências e afins?	Disciplina de Relatividade é parte da matriz curricular?
1	Norte	Universidade Federal do Pará	UFPA	Pública	Não	-	-	Sim <sup>13</sup>	Não
2	Norte	Universidade Federal Rural da Amazônia	UFRA	Pública	Não	-	-	Não	-
3	Norte	Universidade da Amazônia (PA)	Unama	Particular	Não	-	-	Não	-
4	Norte	Centro Universitário do Estado do Pará	Cesupa	Particular	Não	-	-	Não	-
5	Nordeste	Universidade Federal de Pernambuco	UFPE	Pública	Não	-	-	Não	-
6	Nordeste	Universidade Federal da Bahia	UFBA	Pública	Sim	Sim	OP	Não	-
7	Nordeste	Universidade Federal do Ceará	UFC	Pública	Sim	Não	-	Não	-
8	Nordeste	Universidade de Fortaleza	Unifor-CE	Particular	Não	-	-	Não	-
9	Centro-Oeste	Universidade de Brasília	UnB	Pública	Sim	Sim <sup>10</sup>	OP <sup>11</sup>	Não	-
10	Centro-Oeste	Universidade Federal de Goiás	UFG	Pública	Sim	Sim	OB	Não	-
11	Centro-Oeste	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	UFMS	Pública	Sim	Não	-	Não	-
12	Centro-Oeste	Universidade Católica de Brasília	UCB-DF	Particular	Sim	Sim <sup>12</sup>	OB	Não	-
13	Sudeste	Universidade de São Paulo	USP	Pública	Sim	Sim	OB	Sim <sup>6</sup>	Não
14	Sudeste	Universidade de São Paulo - São Carlos	USP-SC	Pública	Não	-	-	Sim <sup>7</sup>	Não
15	Sudeste	Universidade Estadual Paulista	Unesp	Pública	Sim	Sim/Não <sup>8</sup>	OP/-	Não	-

16	Sudeste	Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	Pública	Sim	Sim	OB	Não	-
17	Sudeste	Universidade de Campinas	UNICAMP	Pública	Sim	Não	-	Sim <sup>9</sup>	Não
18	Sudeste	Universidade Federal de São Paulo	UNIFESP	Pública	Não	-	-	Sim	-
19	Sudeste	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	PUC-Rio	Particular	Não	-	-	Não	-
20	Sul	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS	Pública	Sim	Não	-	Não	-
21	Sul	Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	Pública	Sim <sup>1</sup>	Sim	OP	Não	-
22	Sul	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR	Pública	Sim	Sim <sup>2</sup>	OB	Sim <sup>3</sup>	Não
23	Sul	Universidade Federal do Paraná - Curitiba	UFPR	Pública	Sim	Sim	OP	Não	-
24	Sul	Universidade Federal do Paraná - Jandaia	UFPR	Pública	Não	-	-	Sim <sup>4</sup>	Não
25	Sul	Universidade Federal do Paraná - Matinhos	UFPR	Pública	Não	-	-	Sim <sup>5</sup>	Não
26	Sul	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	PUCRS	Particular	Sim	Sim	OB	Não	-

Tabela 16 - Disponibilidade das disciplinas em relação as instituições de todo o Brasil.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 EXISTE A NECESSIDADE DE PENSARMOS NAS ESTRUTURAS DAS SEQUÊNCIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM?

A partir da revisão dos trabalhos apresentada no capítulo anterior e da discussão acerca das matrizes curriculares de cursos de licenciatura em Física ou Ciência, revelou-se um cenário de um ensino de Relatividade escasso e pouca pesquisa acerca desse tema no Ensino Superior. Essa pouca ênfase é facilmente explicitada quando analisamos os números de publicações de pesquisas ou de disciplinas obrigatórias ou não nas matrizes dos cursos. Todavia, em relação à metodologia TLS e DBR, foi possível notar um crescimento nos últimos anos, inclusive, ainda que pouco, no cenário nacional. Portanto, essa pesquisa se insere nesse contexto, buscando contribuir para a diminuição dessa lacuna, investigando aspectos teóricos da elaboração, desenvolvimento e aplicação de um curso de Relatividade para o Ensino Superior, especialmente para a licenciatura. Desta forma, uma das questões motivadoras desta pesquisa está pautada na relação do conteúdo e conhecimento com a criação de sequências didáticas, mas principalmente os estruturantes das TLS. Com isso, buscamos compreender profundamente o processo de design, para que consigamos transpor de maneira clara nossos estruturantes e, por conseguinte, outros professores ou pesquisadores possam utilizá-los, modificá-los ou tomá-los como base para suas próprias sequências. Sendo assim, esse último ponto é de suma importância, visto que, a partir de nosso levantamento inicial acerca dos cursos de relatividade, há uma grave ausência no tratamento do tema na formação dos licenciandos. Ademais, supomos que muitos professores atuantes da sala de aula e longe dos ambientes acadêmicos não gozam de tempo hábil ou momentos nos quais possam refletir sobre suas estruturas de aulas e sequências.

Nós nos indagamos e, assim, instigamo-nos a compreender quais são, ou devem ser os elementos estruturantes de uma SD quando um professor deseja desenhá-la e/ou aplicá-la, especialmente quando se trata do ensino de Relatividade, ou seja, o objetivo principal da pesquisa. Nosso principal questionamento possui em seu âmago uma inquietação voltada à técnica profissional do docente. É preciso, entretanto, ler o termo “técnica” de maneira diferente do que usualmente temos na área. Esse termo é aqui empregado não de forma pejorativa, reducionista, como se fosse um mero conjunto de regras a serem seguidas de maneira mecânica e sem reflexão. Pelo contrário, técnica aqui é empregada como ato de produção, “qualidade de um ato consciente, *imanente* ao ser humano e acontecendo pela necessidade de *produzir* a sua existência, ou seja, pela “realidade do homem no mundo” (VIEIRA PINTO, 2005, p.154). Nesse sentido, essa acepção de técnica exige a compreensão profunda dos pressupostos teóricos

que a orienta. Utilizamos aqui o termo técnica para nos referir justamente ao ato de produção, de criação, teoricamente fundamentado e não a mera execução de um conjunto de procedimentos. E isso justamente por entendermos que "somente a percepção teórica correta do objeto pelo homem liberta-o da servidão" (VIEIRA PINTO, 2005, p.170).

Desta forma, buscamos identificar e entender quais são os aspectos teóricos e práticos para a montagem de um curso, sequência didática ou atividades voltadas ao ensino. Nossa investigação busca compreender e explicitar quais são os elementos estruturantes desse processo, permitindo-nos ir além, do "intuitivo" ou "naturalizado". Ao investigar profundamente quais são os aspectos teóricos que guiam, ou devem guiar, a elaboração de sequências didáticas ou atividades esperamos fazer com que cursos, sequências didáticas ou atividades não possuam sua aplicação e sua efetividade exclusivamente atreladas a quem os criou.

As principais referências norteadoras para esse trabalho são Teaching-Learning Sequences e Design-Based Research. Tais corpos teóricos nos permitem entender quais são as contribuições de outros pesquisadores acerca da capacidade de estruturar esse processo de criação. Tais referenciais nos permite compreender como pode se dar o processo de desenvolvimento dessa habilidade de criação didática, possibilitando-nos a explicitar, refletir e empregar técnicas oriundas de sólidas teorias do conhecimento e não apenas aquelas referenciadas apenas na prática e repetição, aspectos "artesanais" que restringem seu uso quase que exclusivamente a seus criadores,

Desta forma, neste capítulo iremos dissertar sobre os aspectos teóricos e metodológicos destes referenciais. Portanto, o trecho destacado abaixo é um ótimo exemplo para iniciarmos nosso texto:

"Eu ainda me lembro da minha decepção quando, como um instrutor recém-nomeado, eu tive que desenvolver uma série inovadora de lições para introduzir a mecânica quântica na escola secundária. Eu me dirigi para as teorias da educação e da psicologia educacional para obter ajuda. No entanto, quase nenhuma dessas ajudas parecia estar disponível, um resultado frustrante que, infelizmente, foi (e está) alinhado com o ceticismo "tradicional" dos físicos quanto às ciências "suaves". (LIJNSE, 2001, p.309, TRADUÇÃO NOSSA)

Após o levantamento bibliográfico e a leitura dos referenciais teóricos, tivemos nuances de como a pesquisa em TLS é feita e encarada no universo do ensino de ciências. Os questionamentos apontados por diversos autores revelam que esta perspectiva não se encontra dentro da visão majoritária das pesquisas. Entretanto a TLS e DBR surgem justamente com a intenção de mudar o paradigma da educação (TIBERGHIE et al., 2005). Este paradigma pode ser entendido como a falta de conexão entre as pesquisas educacionais vigentes e os problemas reais e constantes do cotidiano escolar. Elas buscam o aprimoramento, reflexão e articulação

das pesquisas educacionais como um todo, visando melhorar o ambiente escolar e enriquecer as situações de aprendizagem.

Lijnse, junto com Méheut e Tiberghien parecem ser os pioneiros e as principais referências para essa vertente do ensino de Física/Ciências. Por meio de seus trabalhos, podemos ver o quão árduo é a inserção da atividade de pesquisa no já paradigmático universo do ensino de ciências. Quando Lijnse cita uma auto visão de sua própria pesquisa em relação ao todo, em seu trabalho *lições que eu aprendi*, podemos vislumbrar essa dificuldade em meio “às atividades tradicionais”:

Infelizmente, desde então, minha pesquisa em física não só serviu como uma referência duradoura, mas também como um obstáculo duradouro. Por exemplo, como eu tive que aprender a aceitar que, enquanto as soluções em física, na maioria das vezes, funcionam na realidade, as soluções na didática da física funcionam principalmente somente na mente de seus inventores. Muitas vezes me perguntava até que ponto se pode dizer que a pesquisa em educação científica é realmente uma atividade científica. Claro que você pode dizer com razão que isso só reflete a arrogância quase proverbial de um físico. Mas afinal de contas, não é o caso que, na física, eles estão buscando uma teoria de tudo, enquanto ouvimos hoje que na didática nem sequer conseguimos ter uma teoria válida de qualquer coisa (LIJNSE, 2001, p. 80, TRADUÇÃO NOSSA)

Segundo Levin e O'donnell (1999) apud DBR-Collective (2003), há um vão de credibilidade na pesquisa educacional. Podemos entender esse “vão” como um efeito das abordagens “não científicas” nas pesquisas (e.g., NRC, 2002), ou então, em relação ao destaque do desprendimento entre a prática e a pesquisa teórica.

Quando pensamos em validade de uma pesquisa, devemos refletir sobre o que adotamos como “sucesso”. Deste modo, destaco o trecho a seguir:

Se o sucesso significa ter certeza de que uma intervenção causou a aprendizagem, então precisamos examinar atentamente a intervenção em um cenário específico. No entanto, a pesquisa neste modelo seria difícil de generalizar para outras configurações. Por outro lado, se o sucesso significa ser capaz de afirmar que uma intervenção poderia ser efetiva em qualquer configuração, então devemos estudar os efeitos em uma variedade de configurações para generalizar. (DBR-COLLECTIVE, 2003, p.5, TRADUÇÃO NOSSA)

Esse quadro complexo é, de fato, o universo nos qual se inserem as pesquisas em educação em ciências. Lijnse (2001) critica unilateralidade dos livros *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Gabel, 1994) e do *International Handbook of Science Education* (Fraser e Tobin, 1998). Segundo o autor, são ótimos materiais de leitura para um pesquisador e não para um professor, pois um dos exemplos é a falta de relevância didática e teorização do conteúdo (LIJNSE, 2001). Com isso, os trabalhos não se preocupam com “conteúdo científico”. Ademais, segundo o autor, existe uma lacuna que é a falta de um “núcleo duro” da didática (LIJNSE, 2001):

O núcleo duro desta atividade, portanto, não é a compreensão da aprendizagem (científica) como um processo psicológico (embora o conhecimento apropriado sobre isso possa, é claro, ser útil), mas a melhoria do ensino e aprendizado de ciências. E,

para esse fim, não pode deixar de se concentrar no ensino e na aprendizagem dos conteúdos e outras particularidades da ciência como sujeito (escolar) (LIJNSE, 2001, p.130, TRADUÇÃO NOSSA).

Desta forma, o que ele chama de “núcleo duro” é um conjunto de fatores que demonstra as relações internas entre as atividades de ensino e aprendizagem dos conteúdos.

Assim, segundo Lijnse (2001):

Pouca atenção é dada a uma análise conceitual didática completa do conteúdo a ser ensinado - uma análise conceitual, isto é, da perspectiva da capacidade de aprendizado e da capacidade de ensino. O que também quase sempre falta é uma descrição e discussão da qualidade didática das situações de ensino / aprendizagem que foram estudadas. (LIJNSE, 2001, p.127, TRADUÇÃO NOSSA).

Desta forma, o pesquisador escreve que há um distanciamento entre as pesquisas em ensino e análises profundas dos conteúdos a serem ensinados. Com isso, pensando nos níveis de detalhamento, tal “[...]afastamento do conteúdo”[...] é [...]prejudicial, porque um nível é ignorado [...], assim, [...]eu o considero necessário para ter um impacto real no ensino de ciências e para alcançar o progresso didático<sup>9</sup>” (LIJNSE, 2001, p.128). O nível que Lijnse (2001) refere-se é justamente a reflexão sobre os processos de ensino-aprendizagem (Teaching-Learning) dos conteúdos específicos. Além disso, sua crítica perpassa também por aqueles trabalhos que buscam compreender os processos de aprendizagem com muitos detalhes. Por fim, destaca-se a fala:

Por exemplo, não vejo a relevância didática de descrever os processos de aprendizagem em termos de processos cognitivos detalhados (Roth, 1998, Welzel, 1997), ou como vias de aprendizagens conceituais individuais (Scott, 1992). Do ponto de vista didático, a pesquisa do primeiro tipo muitas vezes equivale a pouco mais do que descrever o senso comum didático em termos cognitivos complexos, enquanto a pesquisa deste último não é muitas vezes interpretada em relação direta ao processo de ensino (e, portanto, de pouco interesse didático). (LIJNSE, 2001, p.127, TRADUÇÃO NOSSA)

Para designar corretamente o “núcleo duro” didático, Lijnse (2001) faz o uso dos objetivos da “didática das ciências” (didactical of science). Assim, esses objetivos, segundo ele, não são a busca por processos complexos, mas “simplesmente” trabalhar reflexões do *porquê*; *o quê* e *como ensinar ciências a um determinado público*.

Antes de mais nada, é preciso ressaltar que o tom mais duro empregado pelos autores deriva, diretamente, da falta de articulação entre as pesquisas em Ensino e a prática pedagógica real, efetivamente implementada em sala de aula. Certamente, como o próprio autor reconhece, seu tom talvez decorra de sua “arrogância como Físico”. Contudo, é impossível negar a desarticulação por ele apontada ou mesmo negar o sistemático esvaziamento do ensino de conteúdos de Física. Quem não acredita em tais afirmações deveria travar um contato maior com as escolas básicas e até mesmo com os cursos de licenciatura.

---

<sup>9</sup> Progresso didático, em inglês didactical progress, é um termo que possui bastante relevância no texto do autor.



O núcleo didático de Lijnse (2001) atribui uma perspectiva interessante para o nosso trabalho, visto que, a estrutura por ele proposta vai além dos conhecimentos da prática profissional ou compreensões gerais dos processos de ensino. Assim, é algo que permeia uma resposta para nossa pergunta de pesquisa. Além disso, a didática das ciências surge como uma área de conceitos que fortalece a nossa busca por estruturas de sequências para o ensino de ciências. Com isso, Lijnse (2001) pondera:

No entanto, pesquisas anteriores sobre "frameworks alternativos", bem como os efeitos decepcionantes dos principais projetos de desenvolvimento curricular do passado, mostraram precisamente que essa experiência didática, mesmo de professores experientes, era insuficiente. Isso não significa absolutamente desqualificar o conhecimento didático de professores experientes, mas apenas argumentar que uma extensão desse conhecimento é muito necessária. Isso não pode ser deixado como uma tarefa apenas para os próprios praticantes, mas deve ser considerado como uma área que precisa de uma investigação adequada: didática da ciência. (LIJNSE, 2001, p.129, TRADUÇÃO NOSSA)

Devemos lembrar que o papel do professor é indiscutível e, para nós, insubstituível nos processos de ensino-aprendizagem. Ou seja, não há qualquer desmerecimento de sua importância, tampouco de suas capacidades. Portanto, a ação de estruturar a sequência valoriza a evolução da didática das ciências e auxilia a orientação dos professores. A importância do papel do professor fica clara na fala dos autores, ao relacionarem os passos e momentos de sua sequência. Eles tratam com uma variável a participação do docente dentro do próprio desenho da TLS, de modo que o professor é um elemento fundamental do processo de construção didática (TIBERGHIEN et al., 2005).

Para tanto, Lijnse (2001) sugere o uso de abordagens diferentes como a pesquisa de desenvolvimento (development research) ou conhecida também por experimentos de design (design experiments). Assim, essa metodologia apresenta processos particulares que envolvem ciclos de análises conceituais, desenvolvimento de currículo em menor escala (em cooperação entre os professores), formação e treinamento dos docentes e, por fim, investigação e aplicação (em sala de aula) dos processos de ensino-aprendizagem (LIJNSE, 2001).

Desta forma, Lijnse (2001) resume a importância da pesquisa em didática e seus objetivos:

O objetivo principal da (investigação na) didática da ciência é o conhecimento didático específico do conteúdo, baseado no desenvolvimento e justificação de práticas de ensino de ciências exemplares. A investigação sobre a educação em ciências (anglo-americana) parece ter como principal objetivo uma descrição e uma compreensão teórica das práticas de ensino de ciências (existentes), principalmente em termos de fatores independentes do conteúdo. A didática, considerada como uma atividade científica, pode, acredito, ser mais bem caracterizada como uma forma de engenharia educacional, enquanto grande parte da pesquisa em educação científica parece visar a compreensão do ensino e da aprendizagem (ciência) como uma ciência teórica” (LIJNSE, 2001 p. 129, TRADUÇÃO NOSSA)

Este autor não é o único a relatar a necessidade de desenvolvimento das pesquisas em articulação com a prática didático-pedagógica. Tiberghien et al. (2005) também fazem reflexões sobre o paradigma das pesquisas de ensino. Segundo eles, o desenvolvimento das pesquisas em “didática da ciência” é oriundo de grupos de pesquisas em países europeus (Ex: a comissão de Lagarrigue na França) e Estados Unidos (TIBERGHIEEN et al., 2005). Assim, esses projetos pioneiros são raízes de um histórico que apresenta trabalhos como o estudo sobre ensino por resolução de problemas de Reif (1984), a mudança conceitual (POSNER et al. 1982) até os fenômenos sociológicos e antropológicos das ciências segundo Vygotski e Leontiev, além de outros (TIBERGHIEEN et al., 2005).

Segundo Tiberghien et al. (2005) o *The International Handbook of Science Education*, de Fraser e Tobin (1998), é uma prova dessa gama enorme de metodologias e abordagens. Porém, segundo os autores, embora nesta obra possa se encontrar teorias de aprendizagem, sócio-construtivismo, modelos e modelagem, pouco se fala em relação ao design de uma sequência de ensino, mostrando, na visão dos autores, uma desarticulação com a prática efetiva da sala de aula. Um ponto fora da curva possa ser as concepções de desenvolvimento de currículo em relação à aprendizagem proposto por Scott e Driver (1998) (TIBERGHIEEN et al., 2005).

Em particular, nosso trabalho visa não só esse desenvolvimento, fundamentado teoricamente, mas seu objetivo é articular nossa pesquisa com a prática real da sala de aula. Para isso, olhamos atentamente para quem deve recolher e aproveitar os frutos dessa pesquisa: os professores. Além de pesquisadores, enquanto docentes, nossa preocupação perpassa pelas diversas áreas do ensino, e a principal delas é justamente a formação desses profissionais. Assim, para nós, deste ponto de vista imbricado da pesquisa e seu ensino de fato no cotidiano escolar, parece ser bastante proveitoso utilizar-se desses arcabouços de conhecimento para diminuir a desarticulação entre pesquisa e prática apontada por esses autores. Entretanto, temos plena consciência dos condicionantes e dificuldades desse empreendimento, como bem resume Freudenthal (1991):

Imagens de educação tomadas em diferentes momentos da história são incomparáveis. Cada sociedade em um determinado período obteve a educação que queria, precisava, podia pagar, merecia e era capaz de fornecer. A inovação não pode fazer nada além de adaptar a educação a uma sociedade em mudança ou, na melhor das hipóteses, tentar antecipar a mudança. Só isso é bastante difícil. (FREUDENTHAL, 1991 apud LIJNSE, 2001, p. 129, TRADUÇÃO NOSSA)

Por fim, diante da problemática acerca da credibilidade das pesquisas de ensino e a necessidade de núcleos rígidos de fortificação das sequências, adentramos ao foco fundamental

desta pesquisa que são os estruturantes de uma SD e como a metodologia DBR e TLS podem transpor melhor a convecção e o que são esses estruturantes.

## 2.2 UMA VISÃO GERAL DA DBR E DA TLS

### 2.2.1 DBR

A Design-Based Research no ensino busca refletir de uma maneira mais ampla como ocorre o aprendizado em situações complexas de aula e refinar teorias de ensino para que, assim, possamos conseguir obter modelos inovadores que de fato sejam eficientes em sala de aula (BROWN e CAMPIONE, 1996 apud DBR-COLLECTIVE, 2003). Desta maneira, é possível o seguinte destaque do texto:

Na nossa opinião, os métodos que documentam os processos de implementação fornecem evidências críticas para estabelecer garantias para reivindicações sobre o porquê dos resultados ocorridos. (DBR-Collective, 2003, pág. 7, TRADUÇÃO NOSSA)

Os relatos que podem ser obtidos por meio da DBR conectam resultados e processos em diversas situações e contextos, além de se assemelharem com testes de laboratório ou ensaios clínicos (BROWN, 1992). Tal abordagem busca trazer evidências sobre a eficácia da implementação de intervenções em sala de aula, buscando sanar uma crítica crescente acerca da falta de critérios mais seguros sobre resultados e generalizações nas pesquisas em educação.

Por isso, as perspectivas da DBR na Educação são (DBR- COLLECTIVE, 2003):

- ✓ *Explorar as possibilidades para ambientes inovadores de ensino e aprendizagem;*
- ✓ *Desenvolvimento de teorias contextualizadas de ensino e aprendizagem;*
- ✓ *Construindo aglomerados de conhecimento em design;*
- ✓ *O aumento da capacidade humana para a inovação.*

A princípio, a DBR é uma metodologia utilizada para aprimorar o processo de design. Seu uso apresenta várias inovações, dentre elas, estruturas de atividades, instituições, *scaffolds*, os currículos e sistemas de reaplicação (DBR-COLLECTIVE, 2003). É válido destacar que *scaffolds* são metáforas usadas durante o processo de aprendizagem. O uso dessas metáforas se assemelha com a tradução literal do termo, “andaime”. Ou seja, essas situações são como estruturantes do “entendimento” e após a compreensão do fenômeno científico por completo são “desmontados”. Esse termo é mais usado fora do Brasil.

Desta forma, por meio dos projetos “*the Passion School Project*” (Joseph, 2002) e “*BGulLE Project*” (REISER et al., 2001) entendemos que na DBR não devemos somente pensar no processo, mas, além disso, refletirmos sobre os *scaffolds* que serão usados durante a atividade, o currículo, as regulamentações e os objetivos. Por exemplo, o trabalho apresentado pelo grupo de pesquisadores chamado DBR-Collective (2003) revela a interação entre o

scaffolds tecnológico voltado para investigação da atividade e o scaffolds social voltado para o discurso científico.

Segundo Levin e O'donnell (1999) e NRC (2002) apud DBR-Collective (2003), a DBR pode ser uma abordagem metodológica interessante e útil para gerar relatos de ensino e aprendizagem, servindo como suporte para diferentes análises mais profundas e específicas. Além disso, não podemos concluir que esta metodologia é a mais eficiente (DBR-COLLECTIVE,2003). Desta forma, o objetivo principal é, com estudos mais controlados, encontrar evidências que podem ajudar a caracterizar mecanismos, fatores contextuais e a natureza das intervenções. A DBR se diferencia de outras pesquisas avaliativas em sua busca pela elucidação dos mecanismos existentes entre os caminhos contextuais e as intervenções pois:

Não afirmamos que existe um único método de Design-Based Research, mas a preocupação explícita e abrangente na busca por meio de design para usar métodos que ligam processos de promulgação a resultados tem poder para gerar conhecimento que se aplica diretamente a prática educacional. O valor de atender ao contexto não é simplesmente que produz uma melhor compreensão de uma intervenção, mas também que ela pode levar a melhores relatos teóricos de ensino e aprendizagem. (DBR-COLLECTIVE, 2003, p.6, TRADUÇÃO NOSSA)

Deste modo, na DBR, o pensamento global sobre o processo de design é vital na produção de uma SD e suas atividades, pois, segundo Lijnse e Klaassen (2004), a reflexão durante o design proporciona uma melhora na prática didática, possibilitando uma mudança guiada. Assim, durante o processo, devemos decidir sobre o uso de abordagens, teorias e ferramentas. Os autores argumentam que essas decisões podem ser melhoradas na medida em que o designer domina e compreende os processos de ensino e aprendizagem, obrigando, assim, ao aprofundamento no entendimento de diferentes conhecimentos teóricos que orientam a prática.

Ainda sobre o trabalho do DBR-Collective (2003), Kneubil e Pietrocola (2017) sintetizam de forma brilhante na imagem a seguir a ideia de reaplicação e fluxos presentes na DBR. Ademais, podemos imaginar o potencial de desenvolvimento de objetos pedagógicos seguindo esta metodologia.

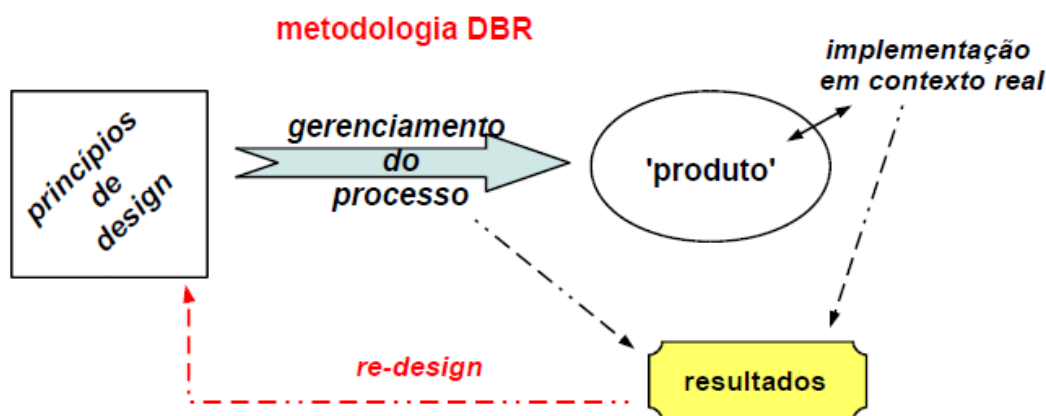


Figura 3 - Esquema de design para DBR (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017 p.3).

A DBR não é perfeita e livre de pormenores. Assim, sua principal dificuldade é a necessidade de redesign após aplicações e análise dos dados. Por isso, essa necessidade, como dito anteriormente, torna esse processo bastante moroso. Além disso, demanda o envolvimento de outros pesquisadores e participantes, de uma maneira não muito usual para a área de Ensino, principalmente no Brasil. Desta forma, em algumas situações a utilização dessa metodologia pode ficar comprometida, principalmente em nosso país, devido à variabilidade dos ambientes sociais escolares e os condicionantes materiais que os pesquisadores da área estão sempre sujeitos. Sendo assim, em algumas situações, o tempo pode ser um fator limitador, pois há a necessidade de repetição dos círculos e reintervenção do processo. Entretanto, apesar dessa necessidade limitante, Kneubil e Pietrocola (2017) destacam trabalhos de ensino de diversas áreas como opções de sucesso para aplicação da DBR, como Ramos (2010), Thein et al. (2012), Wang e Hannafin (2005), além de trabalhos nacionais, Lawall et al. (2009), Rodrigues et al. (2012) Siqueira et al. (2007), Pietrocola (2005), Azevedo et al. (2006) Azevedo (2007), Brockington (2005), Siqueira (2006), Souza (2006), Pessanha (2014), Kneubil (2014) e Forato (2009)” (PIETROCOLA, 2010, apud KNEUBIL & PIETROCOLA, 2017, p.6).

Outro dos principais complicadores do uso da DBR é a dependência de uma situação controlada. Isso porque em uma intervenção há muitas interações e diferentes decisões dos indivíduos que são responsáveis pelo design (professores, designers e pesquisadores). Além disso, a manutenção dos indivíduos nos grupos de trabalho é imprescindível e a interação entre eles está intimamente ligada ao sucesso e validação dos dados. Ademais, é bastante importante que tenhamos em mente a reflexão a seguir:

Mais importante, enfatizamos que a Design-Based Research não deve se tornar um eufemismo para "qualquer coisa vale" como pesquisa ou intervenções simplistas demais (DBR-Collective, 2003, pg.7, TRADUÇÃO NOSSA)

Assim, a DBR, no ensino, pode ser compreendida como uma metodologia de pesquisa capaz de sofisticar e melhorar processos de ensino-aprendizagem. Pois, por meio dos seus ciclos

de redesign e reaplicação, ela permite que os pesquisadores aprimorem os objetos de ensino e as sequências didáticas. Além disso, testem-nas em diferentes situações obtendo trabalhos cada vez mais robustos e aptos para serem aplicadas em diferentes salas e situações de aula. Com isso, a DBR surge para ajudar a detectar, por meio dos ciclos, aspectos e características do complexo universo do ensino capazes de serem destacados e mantidos em futura reaplicação. Além disso, devido a necessidade de preservação de um grupo de pesquisa, em que os pares dominem os ciclos da DBR, criam laços entre os agentes do ensino (pesquisadores, professores e parceiros) possibilitando uma aproximação da teoria à prática da sala de aula.

### 2.2.2 TLS

Em um primeiro momento, cabe a nós, uma pequena introdução à TLS. Podendo ser considerada um arcabouço teórico-metodológico, ela compila diversos aspectos do desenvolvimento de sequências de ensino. Ou seja, o olhar do designer vai além do conteúdo, mas como esse conteúdo se relaciona com o cotidiano do aluno, com que tipo de abordagem o professor irá utilizar e como tudo isso se articula teoricamente. Desta forma, veremos que a TLS proporciona a evolução do processo de criação de sequência didática, pois o professor, ao usá-la, necessitará dominar e compreender uma série de aspectos que envolvem o ensino. Portanto, as SD assumem um papel mais sofisticado, pois passam de simples aglomerados de aulas e atividades, para instrumentos didáticos com objetivos educacionais bastante claros e bem determinados.

Para iniciarmos a discussão em relação às Teaching-Learning Sequences. Devemos destacar o artigo de Méheut e Psillos (2004) que aparece como base teórica em inúmeros outros trabalhos sobre o tema (TIBERGHIE et al., 2005; SIQUEIRA et al., 2007; VIENOT, 2008; NASCIMENTO et al., 2009; KNEUBIL E PIETROCOLA, 2017; PIETROCOLA, 2010; e JUNIOR, 2014). Nesse trabalho os autores apresentam uma grande visão geral do que a TLS pode ser e seu potencial e, talvez por esse motivo, seja então referencial para tantos outros autores.

Nele, aparece o losango didático, que deve ser usado para elaborar as atividades (MÉHEUT e PSILLOS, 2004).

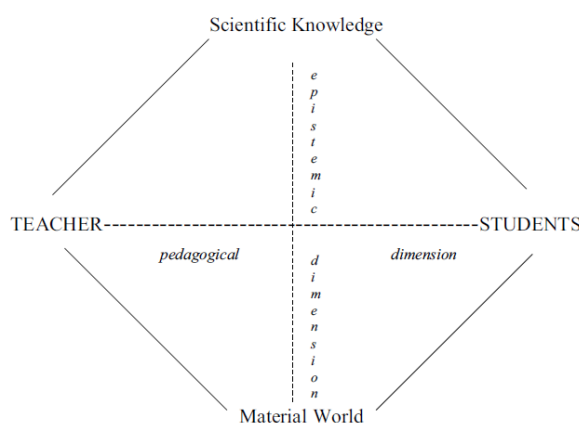


Figura 4 - Losango Didático retirado de Méheut e Psillos (2004)

Segundo os autores, quando criamos uma TLS, devemos refletir sobre alguns aspectos fundamentais, como situações e atividades de ensino-aprendizagem. Além disso, há outras considerações que devem-lhe destacadas, como as concepções e motivações do aluno, análise do conteúdo, teorias pedagógicas, restrições educacionais, dentre outras. Segundo o losango acima, a TLS trabalha tanto como a Ciência contempla o mundo do aluno e como o professor conecta-se com aluno. O eixo vertical, dimensão epistêmica (*epistemic dimension*), é a dimensão em que se compreende como o conhecimento que se deseja abordar trabalha o mundo material do aluno. Nesta dimensão é possível entender como se dão os processos de elaboração e validação dos conhecimentos científicos, ou seja, as metodologias científicas (MÉHEUT e PSILLOS, 2004).

Já no eixo horizontal, trabalha-se a dimensão pedagógica (*pedagogical dimension*). Ela representa a difícil tarefa humana do professor, pois, nesse momento, trabalha-se a interação professor-aluno. No encontro destas duas dimensões, próximo do vértice “estudantes” (*students*) situa-se o foco do desenvolvedor da atividade, ou seja, habilidades e competências que desejamos que o aluno consiga atingir com a interação entre o conhecimento científico (*Scientific Knowledge*) + Mundo material (*Material World*) + estudantes (*Students*) + professor (*Teacher*). Desta forma, nesse ponto se encontra o resultado que o aluno obteve ao final do processo (MÉHEUT e PSILLOS, 2004).

Em meio ao processo de confecção de cada atividade, situações que combinam “conflito cognitivo” (*cognitive conflict*) e “abordagens epistêmicas” (*epistemic approaches*) são bastante importantes, pois assim se consegue produzir os momentos que possam usar a abordagem “construtivista integrada” (*integrated constructivist*). Méheut e Psillos (2004) usam o conceito de “construtivismo integrado” a partir de uma “fusão” de outros dois termos o “construtivismo psicológico” (*psychological constructivism*) e o “construtivismo epistêmico”

(epistemic constructivism). Para eles, essa fusão relaciona o conhecimento dos alunos com as concepções do mundo que eles possuem. Ou seja, uma mescla entre a mudança das concepções prévias dos alunos, com a mudança de compreensão de fenômenos por meio de interações físicas. A fim de revelar a importância desse processo, os autores citam um trabalho de Tiberghien and Barboux (1983) que retrata uma aula sobre temperatura e calor. Eles chamam atenção no trabalho para o esmero na confecção da aula, deste modo, conseguindo conduzir os alunos a estipular uma conexão entre a temperatura e o balanço térmico do sistema. Além disso, os autores ressaltam que por mais simples que possa ser o conhecimento a ser desenvolvido na aula, isso representa um grande salto para o aluno em relação às suas concepções anteriores. Ademais, destaca-se o trato com conceitos que dão novos significados a signos “comuns” dos alunos, como temperatura.

Os conceitos propostos por Méheut e Psillos (2004) não são uma panaceia, ou seja, de modo algum acreditam que sejam uma salvação ou fórmula correta de ensino. Por isso, para desenvolvimento de uma TLS, Leach et al. (2010) destacam a dificuldade de desenvolver e propor trabalhos que apresentem resultados finais satisfatórios. Além disso, eles indicam que essa dificuldade também existiu durante o levantamento de referencial teórico o que, particularmente, também foi um dos problemas enfrentados por nós.

Leach et al. (2010) atribuem outras características à TLS e, para isso, eles utilizam o termo, *design brief* (ou *resumo de design*, em nossa tradução livre). Dentro do processo inicial de sistematização das pesquisas em ensino acreditamos que sejam válidas essas ações de categorizações dos passos a serem dados na construção de uma SD. Assim, segundo os autores, os *resumos de design* podem auxiliar a compreensão geral de todo o desenho. Neles devem conter aspectos e informações ligados ao: *Currículo; Alunos; Professor e Restrições Institucionais*. (LEACH et al., 2010)

Com isso, a partir de Leach et al. (2010) os aspectos para a criação dos resumos *de design* podem ser compreendidos em:



<b>Currículo</b>	<b>Estudantes</b>	<b>Professores</b>	<b>Restrições Institucionais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceitos centrais dos conteúdos a serem ensinados;</li> <li>▪ Conteúdo abordado anteriormente à atividade;</li> <li>▪ Conteúdo abordado posterior à atividade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idade dos alunos;</li> <li>▪ Perfil da turma;</li> <li>▪ Habilidades dos estudantes;</li> <li>▪ Concepções dos alunos que necessitam ser usadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formação dos professores que realizaram a atividade. Se forem especialistas ou possuem formação que possibilita a ação;</li> <li>▪ Características oriundas de experiências ou ensino de ciências que os professores necessitam ter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tamanho e capacidade do ambiente de aplicação e turma;</li> <li>▪ Recursos disponíveis e necessários;</li> <li>▪ Métodos de avaliação;</li> <li>▪ Duração da atividade e regime comum de aulas dos alunos.</li> </ul>

Figura 5 - Esquema criado para exemplificar o resumo de Leach et al. (2010)

Outra grande influência nos trabalhos relacionados à TLS é Tiberghien. Portanto, antes de produzirmos sequências, segundo Tiberghien et al. (2005), devemos diferenciar “ensino” da “aprendizagem”, afinal, esses dois termos possuem suas particularidades. Desta forma, destacamos:

Como Chevallard escreveu, é necessário diferenciar o tempo de ensino e o tempo de aprendizagem (1991). Dois aspectos principais estão envolvidos nesta diferenciação: social e individual. Ensinar é uma atividade social associada ao sistema educativo que, hoje em dia, desempenha um papel importante em nosso país e impõe muitas limitações nesta atividade. Aprender é um processo individual, mesmo que o grupo social do aluno desempenhe o papel crucial. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p. 2).

Essa distinção, ainda que aparentemente simples, é imprescindível para o design de uma TLS. Além disso, os autores apresentam uma esquematização temporal da sequência.

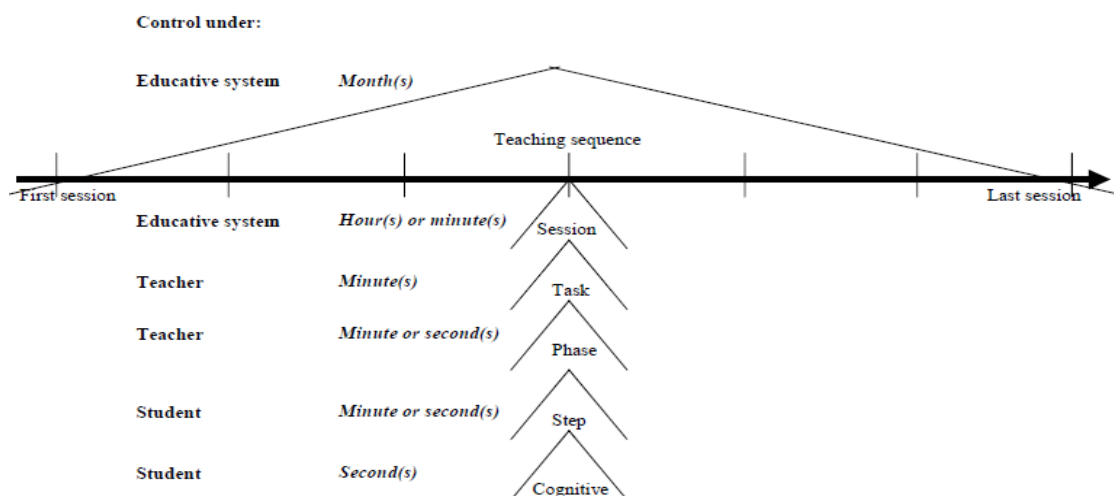


Figura 6 - Esquema de diferentes escalas de tempo relacionadas a sua ação ou momento. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.3)

As medidas temporais e a escala usada por Tiberghien et al. (2005) são interessantes para entendermos as diferenciações entre ensino e aprendizagem. Estes destaques não se limitam ao planejamento de uma atividade, mas também à sua influência no processo como um todo. Além disso, essa diferenciação nos permite entender qual é o papel individual de cada componente do ambiente escolar e suas responsabilidades nessas dimensões temporais. Desta forma, tanto a aula (Sessão) quanto sequência didática possuem as maiores durações, e estas, são limitadas pelo sistema de ensino. Ou seja, a aula deve durar, por exemplo, cinquenta minutos estipulados pelas autoridades de ensino e a sequência não pode extrapolar o calendário anual da matéria ou do curso. Entretanto, ações que duram menos tempo são de encargos dos alunos e professores. Os docentes são responsáveis pelas tarefas, sejam elas em um laboratório ou a realização de um exercício. Se para realizar a tarefa deve-se ser mudado o ambiente da sala ou a disposição dos alunos (distribuídos em grupos ou individualmente) ou se atividade exige muitos questionamentos entraremos na próxima parte da escala: a ambientação<sup>10</sup> (tradução livre nossa, do original *phase*). Apesar, de intuitivamente entendermos a “configuração do ambiente” como uma tarefa dos alunos, a autora destaca que essa medida deve ser de responsabilidade dos professores. Com isso, os estudantes, possuem duas posições na escala de Tiberghien et al. (2005), o passo (step) e cognitiva (cognitive). A primeira remete-se à realização dos momentos propostos pela atividade pelos alunos de maneira autônoma. Já a segunda, está relacionado ao desenvolvimento dos processos cognitivos dos estudantes. É importante frisar que elas não possuem relação de causa e efeito, ou seja, não significa obrigatoriamente que haverá aquisição de conteúdos ao final do processo. (TIBERGHIEEN et al., 2005).

Ainda segundo Tiberghien et al. (2005), a diferenciação entre ensino e aprendizagem não se limita à essa análise temporal. Ela pode ser mais profunda, levando em consideração as teorias de aprendizagem que visam à relação do aluno e seu ambiente ou os quadros teóricos que discutem o professor e sua prática.

Além disso, a autora levanta o questionamento da importância da classe, enquanto uma comunidade, na aquisição do conhecimento. Segundo ela “*O quadro teórico da cognição situada recentemente considerou a classe como uma comunidade de prática onde o aluno é considerado como sendo um membro desta comunidade.*” (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.4). Isso se difere do quadro mais antigo oriundo da comunidade de didáticos franceses, que entende

---

<sup>10</sup> Adotamos essa conotação devido ao fato que neste momento o aluno, sob orientação do professor, deve mudar a configuração da sala ou grupo, assim, se ambientando novamente.

a classe como uma intersecção de professores, alunos e conhecimento a ser ensinado (MERCIER et al., 2002 apud TIBERGHIEEN, 2005). Esse pensamento dá origem à cronogênese (evolução do conhecimento ensinado em relação ao tempo de ensino) e a topo-gênese (posicionamento dos estudantes e professores perante o conhecimento na realização das atividades) (SENSEVY e QUILIO et al., 2002 apud TIBERGHIEEN, 2005).

Ao relacionar crono e topo-gênese à análise da composição do ambiente da sala de aula, estamos realizando um exercício de design, defendido por Tiberghien et al. (2005). A autora vai além e introduz outros elementos, como o contrato didático e a devolução. Assim:

No que se segue, consideramos duas facetas da classe, como o ambiente de aprendizagem de cada aluno (ou aluno) ou como um grupo. O ambiente de aprendizagem dependerá do ponto de vista do aluno e pode ser diferente para cada aluno. O design das sequências ensino-aprendizagem deve levar em conta essas duas facetas. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.4, TRADUÇÃO NOSSA).

Além disso, Tiberghien et al. (2005) mostra a importância em se conhecer e explicitar as hipóteses iniciais sobre o conhecimento a ser ensinado. Ou seja, revisar e estipular os parâmetros pedagógicos, cognitivos, conhecimentos didáticos, história, filosofia e epistemologia das ciências e legislações de ensino (currículo escolar, estadual ou nacional). Desta forma, destacamos o cuidado de Tiberghien et al. (2005) ao realizar todo esse processo citado acima:

Nossa posição teórica de conhecimento baseia-se no trabalho de Chevallard (1991). Ele lidou com o conhecimento usando a metáfora da vida e da ecologia. O conhecimento "vive" dentro de grupos de pessoas chamados de instituições e a relação entre um indivíduo e um conhecimento é denominado "compreensão do conhecimento". Nesta perspectiva, o processo de passar do conhecimento científico para o conhecimento a ser ensinado e depois para o conhecimento efetivamente ensinado é chamado de transposição didática. O processo de design do conhecimento envolvido em uma sequência de ensino corresponde a uma transposição didática. A elaboração deste conhecimento baseia-se no currículo oficial, em particular na França, onde esse texto é quase uma lei. Esta elaboração requer "manipulação do conhecimento". O designer deve especificar o conhecimento de acordo com a sessão (figura 1) e conceber as tarefas dos alunos. Assim, há uma manipulação de conhecimento guiado não só pelo conhecimento científico e possivelmente histórico, mas também pelo conhecimento adquirido pela pesquisa em didática e hipóteses de aprendizado. No nosso caso, essa "manipulação" é guiada por hipóteses de duas perspectivas intrincadas: epistemologia das ciências experimentais e psicologia da aprendizagem. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.4-5, TRADUÇÃO NOSSA).

Tiberghien et al. (2005) apresenta uma estrutura que exemplifica, no âmbito geral, as conexões entre eventos e conhecimento que uma sequência deve ter.

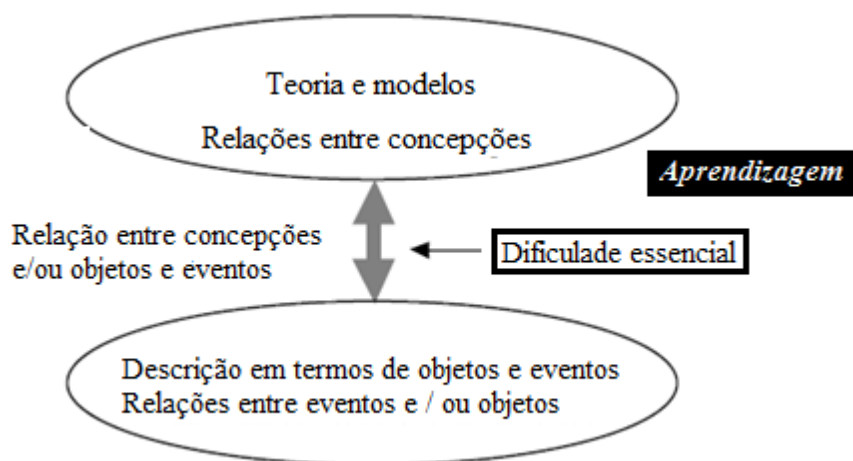


Figura 7 - Hipótese sobre compreensão conceitual em relação à análise do conhecimento em termos de modelagem. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.7) Tradução: própria.

A descrição dessa interação não é simplória. Portanto, a TLS nos revela que a modelagem das SD é um processo bastante complexo, nos quais teorias do conhecimento (epistemológicas, cognitivas, pedagógicas etc.) devem estar imbricadas com conteúdo científicos e com os objetos tratados nas atividades que as compõem.

Na proposta de Tiberghien et al. (2005), por exemplo, a reflexão de como esse processo ocorre é feita por meio do uso da teoria da semiótica. Desta forma, a autora atribui a valorização da linguagem (um conjunto de várias linguagens e representações que a semiótica permite, como verbal, escrita, matemática, representação vetorial etc.) como principal mediadora nos momentos de aprendizagem.

Um dos elementos mais importantes da DBR são os ciclos aplicação e design, com suas reaplicações e “redesign”. Tal importância se revela ao analisarmos esse processo presente na TLS, visto que a aplicação (e reaplicação) em diferentes nichos pode aprimorar ainda mais a própria sequência. Como um exemplo, temos o relato de Tiberghien et al. (2005), sobre uma modificação realizada após a replicação da sequência durante alguns anos,

“Nossas hipóteses sobre a modelagem nos levam a ser particularmente cuidadosos com a coerência entre o campo experimental e a teoria. Depois, após três anos de uso dessa sequência por vários professores e o desenvolvimento de exercícios de avaliação (Coulaud, 2003), percebemos a necessidade de introduzir fricção. Na verdade, vários exercícios dados nos livros didáticos e nossos próprios exercícios incluem situações em que há fricção. Isso não é surpreendente se a avaliação não se restringe à situação ideal. Então, foi decidido, mesmo que não esteja no currículo oficial, para tornar explícito o atrito aos alunos, introduzindo-o como parte da teoria. Este exemplo mostra que o design da sequência de ensino é um processo iterativo com implementação sucessiva (LIJNSE, 2001) (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.20, TRADUÇÃO NOSSA).

Desta forma, em meio aos momentos de aplicação, design e redesign devemos refletir acerca de alguns pontos, como o destacado por de Savinainen et al. (2015) e pensado para desenvolvimento de nossa pesquisa:

A literatura de pesquisa pode ser usada para informar pesquisadores e professores na concepção de sequências de ensino que abordam as dificuldades identificadas. De fato, a pesquisa em ensino de ciências produziu muitas sequências de ensino-aprendizagem (TLS) que demonstraram melhorar a aprendizagem (ver revisões por Méheut e Psillos, 2004; Meltzer e Thornton, 2012). Em muitos casos, o professor que utiliza uma TLS tem trabalhado em estreita colaboração com a equipe de pesquisa ou pode realmente ser o próprio pesquisador. Devido a isso, é provável que a eficácia do professor em se envolver com o pensamento dos alunos no domínio a ser ensinado tenha melhorado significativamente, ao passo que um professor do grupo de comparação pode não ter tais habilidades na mesma medida (Leach e Scott, 2003). Estas preocupações levam a uma questão importante: os professores que não participaram no desenvolvimento de um TLS podem ensiná-la de uma forma eficaz? (Savinainen et al., 2015 pg. 2, TRADUÇÃO NOSSA)

Apesar da fala de Savinainen et al. (2015) outros autores chamam atenção para a eficácia ou validade da sequência. Segundo Méheut e Psillos (2004) ao usarmos a “pesquisa de desenvolvimento” (Developmental Research) nossa TLS torna-se eficaz se apresentar “estruturas didáticas adequadas” e “satisfatórios processos de ensino aprendizagem”. Porém, se usarmos uma a “engenharia da didática” (Ingénierie Didactique) a TLS será válida se atividade confirmar ou desafiar as hipóteses iniciais no decorrer do processo de desenvolvimento das vias de aprendizagem do aluno.

Assim, destaco um trecho de Méheut e Psillos (2004):

Demonstrar a viabilidade ou a eficácia de uma sequência pode ser ligado à perspectiva pragmática de criar "bons produtos educacionais". Tentando alcançar descrições precisas de vias cognitivas dos alunos e testar certas hipóteses específicas que podem ser ligadas a uma perspectiva de compreender os processos cognitivos e testar teorias da aprendizagem. (MÉHEUT e PSILLOS, 2004 pg.15, TRADUÇÃO NOSSA).

## 2.3 ESTRUTURA E ESQUEMAS DA TLS

A partir de Méheut e Psillos (2004) surgem muitas TLS que utilizam seu losango para construir as atividades. Além disso, nossas propostas de estruturas para as sequências também começam aparecer. Desta forma, ao analisarmos alguns trabalhos, compreendemos que há uma gama de estruturantes, estruturas e aspectos que devem ser considerados no design de TLS. Portanto, essa subseção destina-se a entendermos melhor quais são os estruturantes de sequências didáticas.

Com o crescimento da TLS e DBR na área de ensino, um dos trabalhos importantes que surgiram foi o de Leach et al. (2010). Nele, os autores apresentam o termo “*Grain Size*” (Tamanho do grão a tradução literal) e por nós traduzido como *nível de detalhamento*. Essa expressão descreve o esmero de um processo de criação de sequências, ou como eles expõem:

*“Usamos o termo ‘Grain Size (Nível de detalhamento) para descrever o nível de detalhe no qual um processo ou prática é descrito - muitas vezes em termos de conteúdo específico.”* (LEACH et al., 2010, pg. 8).

Com o aporte dos conceitos de Sandoval e Bell (2004), Leach et al. (2010) debatem a natureza das pesquisas, no caso em psicologia. Acreditamos que a reflexão se possa ser alongada à pedagogia e ensino. Os autores atribuem o caráter de “tensão” entre uma pesquisa em psicologia clássica que segue métodos mais rígidos, com desenhos experimentais específicos e que pode ser replicada com pesquisas que possuem problemas e situações complexas que não podem ser associadas a um arranjo experimental.

Assim, surgem às *noções de design*, que tentam diminuir a “tensão” do parágrafo anterior, ou seja, replicar cientificamente pesquisas que trabalhem com questões específicas e tenham estruturas complexas (como as salas de aula). Desta forma, às *noções de design*, ao final, tratam também do “vão de credibilidade” de Levin e O'donnell (1999) apud DBR-Collective (2003) e os problemas relatados na seção 2.1 deste capítulo. Portanto, acreditamos que os desenvolvimentos dos estruturantes enriquecem e fortificam as pesquisas em ensino e criação de sequências didáticas. Desta forma, há aspectos do design de sequências que devemos discutir, pois, são estruturantes das TLS. Por exemplo, Leach et al. (2010) apontam aspectos acerca das experiências de criação de sequências didáticas que são, respectivamente:

- **Primeiro Aspecto**

O primeiro pensamento está relacionado ao nicho no qual se desenvolve as sequências de ensino. Leach et al. (2010) descreve que os desenvolvedores da pesquisa são do Reino Unido e Catalunha. Ou seja, temos que caracterizar nossos nichos de trabalho. Neles deverão ser constatados os limites e recursos, além de natureza da aplicação e design. Identificamos isso no próprio artigo, visto que, os autores relatam dificuldades de consenso entre eles:

Além disso, vivemos situações em grupos internacionais onde foi muito difícil estabelecer uma boa comunicação sobre o ensino de um aspecto específico do conteúdo científico, por causa de suposições tácitas sobre a natureza do desafio do ensino (por exemplo, o tamanho e os níveis das aulas Das instalações, da formação do professor, do conteúdo do currículo e do tempo disponível para o ensino) (LEACH et al., 2010, p.11, TRADUÇÃO NOSSA).

Isso remete à problemática inicial relacionada à reprodução e aplicação em outros nichos das pesquisas, assim, fazendo necessária essa caracterização e descrição do nicho de aplicação, currículo, legislações, limites e recursos. Outro exemplo muito importante na descrição dos nichos se dá na fala de Tiberghien et al. (2005). Nela, a autora diferencia a aplicação de duas sequências iguais em ambientes diferentes:

Neste artigo, selecionamos séries de filmes de vídeo de duas classes em diferentes escolas; uma escola é definida em uma área socioeconômica bastante baixa (classe F),

a outra em uma classe média (classe B). Estes filmes foram realizados durante dois anos acadêmicos diferentes (2000 e 2002) no contexto do doutorado. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.15, TRADUÇÃO NOSSA)

- **Segundo Aspecto**

A segunda parte do *resumo de design* é aquela na qual é apresentado e discriminado o conteúdo que será abordado. Neste momento são compostos os objetivos a serem alcançados.

- **Terceiro Aspecto**

O terceiro aspecto refere-se à estrutura de trabalho, ou seja, aqui devemos, enquanto designers, demonstrar as estratégias pedagógicas e a sequência do conteúdo (Leach e Scott, 2010). Portanto, é interessante a valorização, em meio às reflexões apresentadas, da história da ciência, do modelo científico, da internalização e responsabilidade dos alunos. Deste modo, podemos compreender melhor com a exemplificação:

Esta seção do resumo de design começa, portanto, especificando e justificando o projeto da estrutura geral da intervenção de ensino em um grande nível de detalhamento minucioso. Isso é exemplificado no resumo de projeto apresentado no apêndice. Uma decisão de projeto é justificada para introduzir um modelo de partículas simples ("Estabelecimento da história científica"), utilizando-a para explicar propriedades familiares de sólidos, líquidos e gases ("Apoiar a internalização do aluno") e, em seguida, dar aos alunos a oportunidade de usar o modelo para explicar os processos familiares de mudança física ("Entregando a responsabilidade aos estudantes"). Uma outra sequência de encenação, apoio e entrega é então justificada, com conteúdo adicional. (LEACH et al., 2010 p.13, TRADUÇÃO NOSSA)

Dentro da estruturação de uma sequência didática, a apresentação, por parte dos designers, das teorias cognitivas que sustentam as atividades é imprescindível. Essa necessidade é crucial para produzir materiais com *níveis de detalhamentos minuciosos* de Leach et al. (2010). Com isso, para Tiberghien et al. (2005) em sua sequência, o *quadro teórico* é composto pela visão sócio-construtivista, assim, apoiando-se em Vigotski, mas sem excluir as concepções de Piaget. Embora fosse possível prever a utilização de conceitos piagetianos devido às visões de sala de aula, a discriminação das teorias que embasam o trabalho, novamente, se faz importante para os demais designers que desejam usá-la e, principalmente, entendê-la.

As estruturas de uma sequência não só guiam os designers como podem auxiliar a comparação com metodologias mais tradicionais de trabalho dos conteúdos científicos em sala de aula, como mostrado no quadro comparativo de Tiberghien et al. (2005). Nele, o papel do professor, bem como a forma de participação do aluno fica temporalmente explicitada, permitindo assim perceber possíveis diferenças entre as SD. Tal artifício contribui para o estabelecimento do contrato didático mais adequado à determinada situação escolar. Em particular, neste exemplo de Tiberghien, devido às escolhas de abordagem justificadas pelas

teorias de conhecimento utilizadas na estruturação da SD, o erro é tratado de maneira diferente da tradicional (aula expositiva, lousa, livro e giz), assumindo um papel importante e fundamental na aprendizagem. Assim, os estudantes deveriam anotar suas previsões de eventos futuros, mesmo que como indivíduos incipientes nos conceitos científicos, de modo que errar seria bastante esperado. Esta abordagem, então, valoriza os argumentos errôneos dos alunos. Isso revela o quanto as escolhas de instrumentos de ensino pensados durante o processo de design são cruciais, numa completa amálgama entre diferentes conhecimentos teóricos, científico, didático e pedagógico.

Tiberghien et al. (2005) sugere outro instrumento de design a partir de Buty et al. (2004): o *grid*, traduzido por nós como *matriz*. Nele há duas visões em relação ao conhecimento, o a ser ministrado e o dos estudantes. Assim, segundo a autora, as teorias dos estudantes (ou outras pessoas do cotidiano) são ingênuas, pois não são conscientes.

Progressão no tempo de uma tarefa	Tempo		
Nossa Sequência (Tiberghien et al. 2005)	Introdução do professor	Trabalho de grupos pequenos	Discussão em sala de aula, correção, institucionalização
Sequência Tradicional	Palestra de Institucionalização do professor	Trabalho prático de pequenos grupos	Discussão em sala de aula

Figura 8 - Comparação de organizações didáticas (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.9) Tradução: própria

Não há dúvida da importância do trabalho Tiberghien et al. (2005) para qualquer pesquisador em TLS, servindo também de inspiração para qualquer designer e, portanto, para essa dissertação. Assim, há ainda mais contribuições a serem apresentadas. Uma delas é a estrutura que relaciona as tarefas epistêmicas com seus objetivos e seu funcionamento. Para isso, destacamos a tabela a seguir. Ela é um exemplo do *nível de detalhamento*, pois a partir dela, podemos entender aspectos da estrutura seguida e a relação dos objetivos e funções das tarefas, além de como alcançá-los.



<b>Tarefas epistemológicas</b>	<b>Tema (Objeto da tarefa)</b>	<b>Como</b>
<b>Descrevendo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observáveis (eventos, objetos, indicações)</li> <li>- gráfico, esquema, imagem</li> </ul>	
<b>Interpretação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípio, leis, definição teórica</li> <li>- Estratégia de uso de princípios, leis, definição teórica, conceito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construindo relação entre objetos-eventos</li> <li>- Construindo a relação entre objetos-eventos e quantidades físicas</li> <li>- Construindo relação entre quantidades físicas</li> </ul>
<b>Previsão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos experimentais</li> <li>- Elemento teórico</li> <li>- Relação entre fatos e elemento teórico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intuitivamente</li> <li>- Da observação de objetos ou eventos</li> <li>- Dos elementos teóricos</li> </ul>
<b>Definindo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definindo</li> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípio, leis, definição teórica</li> </ul>	
<b>Explicando</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípio, leis, definição teórica</li> <li>- Estratégia de uso de princípios, leis, definição teórica, conceito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construindo relação entre objetos-eventos</li> <li>- Construindo relação entre objetos - eventos e quantidades físicas</li> <li>- Construindo relação entre quantidades físicas</li> </ul>
<b>Questionando</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípio, leis, definição teórica</li> <li>- Estratégia de uso de princípios, leis, definição teórica, conceito</li> </ul>	
<b>Argumentando</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípios, leis, definição teórica</li> <li>- Estratégia de uso do princípio, leis, definição teórica</li> </ul>	
<b>Crítica (avaliação).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatos observados</li> <li>- Conceitos</li> <li>- Princípio, leis, definição teórica</li> <li>- Estratégia de uso de princípios, leis, definição teórica, conceito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- conhecimento produzido</li> <li>- por ele próprio</li> <li>- por outro</li> </ul>

Figura 9 - Categoria das tarefas epistemológicas. (TIBERGHIEEN et al., 2005, p.16) Tradução: própria

As estruturas, além de nortear o desenvolvimento das atividades para o trabalho do conteúdo, podem contemplar as fases e momentos de desenvolvimento do processo educacional. Pessanha e Pietrocola (2013) demonstram o esqueleto da sessão, partindo da situação iniciadora, passando por conteúdo (estrutura do átomo) até o ponto final, os aceleradores. Os quadros utilizados demonstram os momentos, motivadores e conceitos

envolvidos em cada etapa, que segue uma ordem “evolutiva” (da esquerda para direita do esquema)

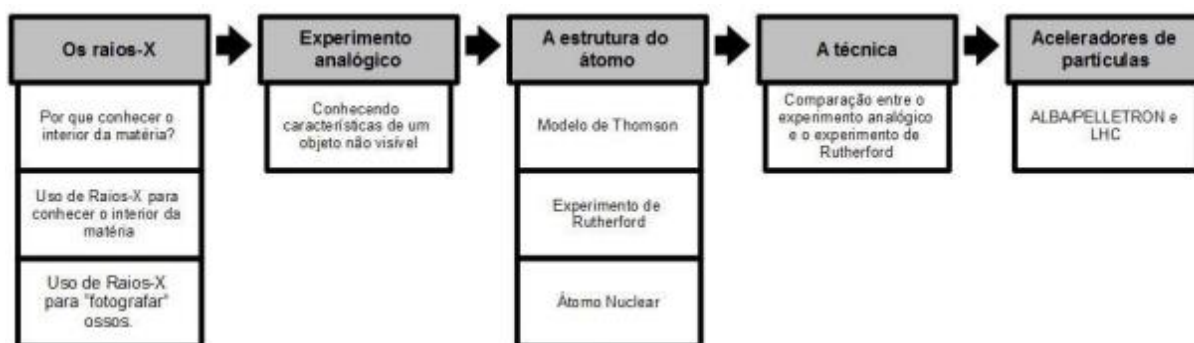


Figura 10 - Exemplo de estruturação retirado de (PESSANHA E PIETROCOLA, 2013, p.3)

Essas estruturações podem sofrer variações conforme as TLS forem aplicadas e reaplicadas. Isso pode ocorrer por diversos processos sejam acomodação do professor parceiro até contextualização de diversos ambientes das salas de aula. Desta forma, podemos encarar essa “mutação” das sequências como adaptações às complexas variáveis presentes nos processos de ensino-aprendizagem. Entretanto, nós vislumbramos que isso, ao fundo, assemelha-se a um processo descrito pela DBR.

A complexidade das construções das sequências didáticas é perceptível em quase todos os trabalhos, além do cuidado em se deixar explícito quais são os elementos que estruturam os desenhos das TLS. Por exemplo, quando Lijnse e Klaassen (2004) fixam o “construtivismo educacional” como ponto de partida para construção de sua sequência didática, os quadros teóricos e o papel das teorias.

É interessante que Lijnse e Klaassen (2004) estipulam as orientações do conhecimento científico em quatro aspectos: Prático, Teórico, Técnico e Social. Em uma SD voltada para o ensino de radioatividade, os autores extrapolam o universo do aluno em sua sequência, pois também avaliam o aprendizado e os momentos nos quais os professores irão utilizá-la. Com isso, eles chegam a um esquema que possui duas colunas, a primeira voltada ao conhecimento a ser ensinado e a segunda aos motivos (motive) que devem proporcionar a aprendizagem quando desenvolvidos. Outro ponto de bastante destaque nesse trabalho está na tentativa de evitar concepções errôneas sobre o assunto e dificuldades na diferenciação da irradiação e contaminação. Para isso, apresentam a abordagem bottom-top. Essa se baseia na *inter-relação dos motivos e conhecimentos a serem desenvolvidos* (LIJNSE e KLAASSEN, 2004, p.163). Assim, um “motivo global” impulsiona a sequência, enquanto “motivos locais” relacionam-se com os momentos (LIJNSE e KLAASSEN, 2004).

Conhecimento de física	Motivo
<p>Uma orientação global sobre o que a radioatividade pode fazer para nós, como podemos usá-lo e o que é</p>	<p>deve resultar no motivo global de que alguém quer saber mais sobre este tópico</p>
<p>começando por se concentrar em "quando alguém lida com a radioatividade"</p>	<p>resultando em uma necessidade sentida de um critério</p>
<p>que é desenvolvido e contado ("tique" do contador Geiger)</p>	
<p>e usado para tentar entender o que torna algumas situações potencialmente perigosas</p>	
<p>o que leva os alunos a formularem o seu objetivo de investigar sistematicamente como algo pode ser tornado radioativo (e como não)</p>	<p>e eles estão querendo conhecê-lo</p>
<p>que pede o desenvolvimento de generalizações empíricas qualitativas em termos de irradiação, substância radioativa e contaminação</p>	
<p>que servem para apreciar algumas medidas básicas de proteção, mas acabam por ser insuficientes para entender alguns outros aplicativos</p>	<p>resultando em querer poder ser mais preciso</p>

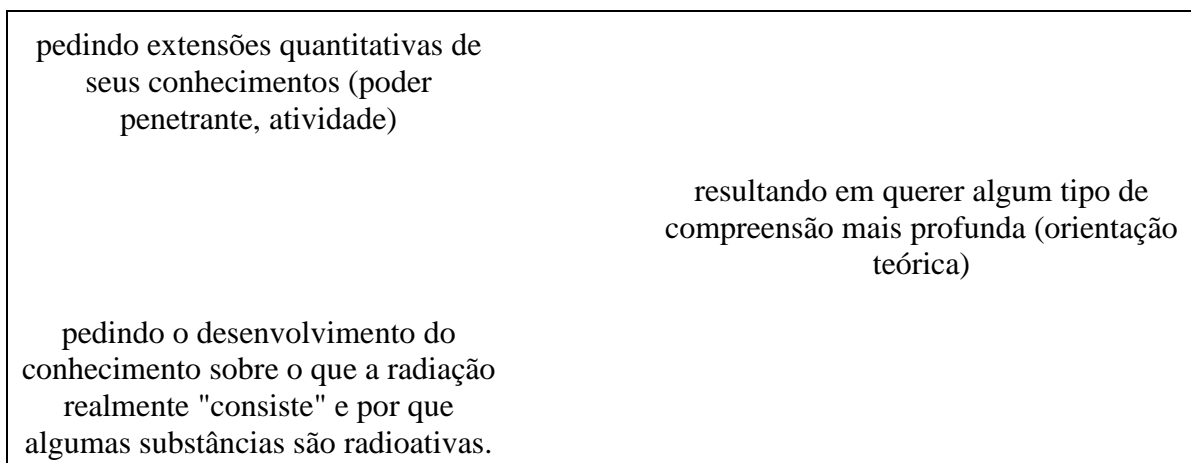


Figura 11 - Estrutura de atividade relacionando o conhecimento com seus motivadores (LIJNSE e KLAASSEN, 2004 p. 164) Tradução: Própria.

Desta forma, possuímos os seguintes momentos (do original phases):

<b>Fase 1</b>	Estimulação, norteamento e estudo do tema global.
<b>Fase 2</b>	Reduzir o motivo global para uma necessidade específica de conteúdo, com isso, mais conhecimento.
<b>Fase 3</b>	Formular e ampliar os conhecimentos dos alunos acerca do motivo global e suas necessidades de conhecimentos a mais
<b>Fase 4</b>	Aplicando esse conhecimento em situações para as quais o conhecimento foi estendido.
<b>Fase 5</b>	Criando, refletindo sobre o conhecimento desenvolvido, a necessidade de uma orientação teórica.
<b>Fase 6</b>	Desenvolver, dentro desta orientação, mais conhecimentos teóricos.

Figura 12 - Relação e objetivo de cada momento da aula. Adaptado e traduzido de Lijnse e Klaassen (2004) p. 164.

Os autores destacam que outra estrutura pode ser feita a partir da primeira, e que nesta segunda, compreendemos o potencial mais geral que pode ser aplicado em outros tópicos de física. Além disso, essa nova estrutura apresenta padrões e dificuldade particulares:

O desafio didático é fazer com que os alunos se movam significativamente para baixo através desta estrutura de três níveis, fazendo com que eles vejam o ponto de usar e desenvolver novos conceitos, para atender novos interesses explicativos. A transferibilidade da estrutura na Figura 2 reside no fato de que fornece uma maneira de pensar que também pode ser aplicável ao desenvolvimento de uma estrutura didática mais detalhada para o ensino de outros tópicos. (LIJNSE e KLAASSEN, 2004p. 165, TRADUÇÃO NOSSA)

## 2.4 O ESTRUTURANTE PRINCIPAL, A FERRAMENTA DE DESIGN.

Em meio à revisão bibliográfica, um grupo de pesquisas destacou-se. Nestas referências, uma gama de elementos da TLS era trabalhada de uma forma mais profunda. Nestes artigos, as estruturas das sequências não se limitavam ao conteúdo e design das atividades, assim, iam além e debatiam os processos epistemológicos e pedagógicos acerca das TLS. Por conseguinte, para isso, introduziram novos termos e processos, como *Grandes Teorias* e *estruturas intermediárias*. Ademais, sem dúvidas, a contribuição mais impactante para nossa pesquisa, que se distancia daquelas de Méheut e Psillos (2004) e Tiberghien et al. (2005), são as *ferramentas de design*. Para nós, elas aparentam ser as reais estruturantes das sequências de ensino aprendizagem. Assim, para compreendermos melhor esse grupo de trabalhos que nortearam as ações de nossa pesquisa, utilizamos Leach et al. (2010), quando os autores voltam-se para o trabalho de Ruthven et al. (2009), que usa abordagens diferentes no ensino de ciências e matemática. Em seu trabalho, podemos ver o *nível de detalhamento minucioso* de sua pesquisa. Isto ocorre porque, Ruthven et al. (2009) fazem análises de diferentes aspectos do desenvolvimento de sequências didáticas. O trabalho dos autores é um dos grandes norteadores dessa pesquisa, pois, a partir deles, compreendemos como o uso de conhecidas abordagens da didática francesa podem ser integradas na construção das TLS.

Eles utilizam os conceitos da Teoria das Situações Didáticas, TDS (sigla em inglês para *Theory of Didactical Situations*), Perspectiva Social Construtivista (*The Social Constructivist Perspective*) e apresentam as noções de Os Dois Mundos (*The Two Worlds*), confrontando as principais características de cada estrutura intermediária (*Intermediate theoretical framework*). Outro ponto do trabalho que interessa a pesquisa é o fato dos autores demonstrarem as bases teóricas de cada uma, chamando-as de Grandes Teorias, tradução nossa direta para *Grands Theories*. Essas possuem duas vertentes principais, as teorias epistemológicas e as cognitivas.

A Teoria das Situações Didáticas, criada por Brousseau (1997), compila a *equilíbrio* de Piaget e o *obstáculo epistemológico* de Bachelard, além de ao fundo, utilizar partes da teoria de Vigotski para aprendizagem. Assim, para Ruthven et al. (2009), essas são as Grandes Teorias cognitivas e epistemológicas por trás da TSD. Segundo os autores, há limites das concepções piagetiana, e a partir deles, cria-se a necessidade da intervenção matemática do professor, para isso, é introduzido as ideias de Bachelard. Ruthven et al. (2009) exemplificam uma situação didática e suas variáveis, presente na teoria de Brousseau (1997), em uma atividade na qual são estudados os números decimais. Os autores buscam desvincular a ideia dos alunos de construir “os números com vírgulas” como dois inteiros, mas entender as configurações dos decimais

(eles relatam que essa noção persiste até em universitários). Em um primeiro momento, imagina-se que a pesquisa de Ruthven et al.(2009) é somente uma aplicação das teorias propostas (ou *Grandes Teorias* como eles colocam), todavia, a importância do trabalho concentra-se na apropriação das *Grandes Teorias* pelos desenvolvedores da TLS e uso de suas concepções epistemológicas e cognitivas como guias para a criação da sequência e atividades. Isso fica mais claro quando destacamos o trecho a seguir:

No TDS, a hipótese epistemológica orientadora é que um conceito matemático toma seu significado a partir de problemas para os quais ele traz uma solução ótima, em particular uma solução econômica. Por exemplo, comparar frações pode ser feita de maneira especialmente eficaz quando elas são escritas em uma forma decimal, como 0,625 e 0,650, em vez de uma forma racional, como  $\frac{5}{8}$  e  $\frac{13}{20}$ . A hipótese cognitiva correspondente no TDS é que os resultados de aprendizado dos alunos adaptam seu pensamento matemático em resposta a alguma nova situação em que seu conhecimento existente não suporta uma estratégia de solução eficiente. Os meios de solução que os estudantes acham necessário conceber servem como fonte de novos conhecimentos matemáticos. As considerações epistemológicas e cognitivas não são, evidentemente, independentes: o objetivo é identificar as condições para um processo planejado de aprendizagem através do qual os alunos constroem e usam aquelas características de números decimais que a análise epistemológica identificou como constituindo o conceito. (Ruthven et al., 2009, p.332)

Desta forma, Ruthven et al. (2009) apresentam a *Grandes Teorias* como o marco e norteador de todo trabalho de construção da TLS. Além disso, seu domínio não fica restrito a conhecer os teóricos, mas destrinchar todas suas potencialidades e parâmetros. Evidenciamos isso ao destacar a tabela a seguir:

**Table 1**  
***Grand Theories, Intermediate Framework, and Design Tools in Brousseau's Approach to the Design of Teaching Sequences in Mathematics***

<b>Essentials of Design Approach</b>	<b>Design Based on Adidactical Adaptation</b>
Grand theories	Piagetian perspective on knowledge construction; Bachelardian concept of epistemological obstacle
Intermediate theoretical framework	Theory of Didactical Situations
Design tools	Adidactical Situation; Didactical Variables
Key summary references for further details about the framework and tools	Brousseau, 1997; Brousseau, Brousseau, & Warfield, 2008

Figura 13 - Estruturação de atividade utilizando Grandes Teorias, Estruturas intermediárias e Ferramentas de Design (RUTHVEN et al., 2009, p.332)

Ademais há uma diferenciação extremamente interessante. Os autores sugerem que os conceitos epistemológicos e cognitivos, advindos das *Grandes Teorias*, constroem *estruturas intermediárias* (notem que o trabalho de Brousseau (1997) é caracterizado com uma estrutura

intermediária que é subsidiada por aspectos ou influências das *Grandes Teorias*). Por sua vez, essas *estruturas intermediárias* dão origem às *ferramentas de design*.

A próxima *estrutura intermediária* discutida por Ruthven et al. (2009) é chamada de “*Os Dois Mundos*”, utilizada para estruturar sequências de física. O exemplo apresentado pelos autores é sobre as leis de Newton. Suas *Grandes Teorias* são a teorização das ciências experimentais, que é tratada como base para o conhecimento científico, de Bachelard, e a teorização da aprendizagem de Vigotski. Assim, as concepções de Dois Mundos é um processo de modelagem que trabalha a compreensão Física de um objeto e a concepções dos alunos para que, assim, uma descrição do mundo possa ser feita. Ainda que os eventos, objetos e efeitos sejam simples de criar algum modelo, isso não implica que as descrições dos dois sejam equivalentes. Deste modo, essa estrutura intermediária busca sair da explicação de mundo com conceitos prévios e intuitivas, para explicações teorizadas e conceituadas da Física. Para essa estrutura intermediária há o uso de duas “ferramentas”: a *distância de conhecimento* e a *relações de modelagem*.

A *distância de conhecimento* (*The Knowledge Distance tool*) é interessante para analisar o quão longe estão os mundos das concepções dos alunos e o mundo da física. Essa distância, quando analisada, fornece indícios e informações preciosas para o designer. Com ela é possível nortear e identificar o foco e objetivos da sequência.

Com isso, a ferramenta *relações de modelagem* (*The Modeling Relations tool*) compila a modelagem dos efeitos e eventos. Por conseguinte, é baseada na capacidade dos alunos proporem modelos que compreendem certos fenômenos e, com isso, compara com modelos já estipulados da ciência. Portanto, a *distância de conhecimento*, relaciona os dois mundos dos alunos e a *relações de modelagem* relaciona as diferentes descrições para um mesmo fenômeno oriunda desses mundos (científico e cotidiano). Assim, o Ruthven et al. (2009) demonstra de que forma essas ferramentas podem nortear as atividades, para isso, eles propõem 4 tipos.

Desta forma, temos em uma atividade com **Tipo 1** de relações, que busca auxiliar os alunos a entenderem e descreverem fenômenos com as concepções das teorias físicas e não mais com as concepções intuitivas. Para isso, os alunos devem começar a mudar a maneira de “ver” os efeitos do cotidiano. O designer, nesta relação, deve utilizar eventos capazes de desenvolver no aluno essa “nova visão”. Deste modo, ele (designer) tem que enfatizar o papel da percepção na aprendizagem física, em particular, a exigência para moldar o que é percebido com conceitos físicos. É muito importante entender o papel da central da linguagem da Física, para que o aluno utilize-a para reconstruir sua visão. Contudo, para os autores, é bastante raro

o uso dessas atividades no ensino de física na escola secundária (TIBERGHIE et al., 2005 apud RUTHVEN et al., 2009)

Já o **Tipo 2** relaciona os fenômenos e acontecimentos com as teorias e modelos padrões, ou seja, conectar a ideia de movimento e a interação dos objetos com o conceito de força, por exemplo. No **Tipo 3** temos a interação do mundo das teorias com os objetos e eventos reais. Por exemplo, quando pensamos quais são as forças que agem em um sistema de caixas ou o que aconteceria se não houvesse forças aplicadas a um corpo. Por fim, o **Tipo 4** é a interação final. Ou seja, é, geralmente, a conclusão do processo. Aqui o designer deve pensar em eventos que levem ou confirmem a capacidade do aluno de analisar fenômenos com conceitos físicos. O exemplo do Tipo 3 pode ser extremamente conclusivo e apropriado para essa identificarmos a relação de Tipo 4. A partir desta questão, o aluno terá que utilizar todas as interações anteriores para “solucionar”, com conceitos físicos, os fenômenos visíveis e teóricos envolvido nesse problema. Sendo assim o autor, conclui que:

Uma sequência de ensino completa para ajudar os alunos a construir um novo sistema de conceitos deve incluir atividades que corroborem toda a gama de relações, geralmente começando com tipo 1 e concluindo com tipo 4. (RUTHVEN et al., 2009, pg. 9, TRADUÇÃO NOSSA)

Com isso, as ferramentas apresentam-se como grandes estruturantes das TLS, mas devemos ponderar que elas são forjadas por *Estruturas Intermediárias* bem definidas que, por sua vez, originam-se de *Grandes Teorias* escolhidas previamente pelos designers. Na *Estrutura Intermediária* definida por Ruthven et al. (2009) são utilizadas como ferramentas de design a *Demanda de Aprendizagem* (*The Learning Demand tool*) e *Abordagem Comunicativa* (*The Communicative Approach tool*). A primeira procura focar qual conhecimento irá ser tratado. Nela é feita uma comparação entre duas línguas sociais, dos alunos e das Ciências. Assim, o designer deve analisar como essas linguagens se diferem e como trabalham os conceitos a serem estudados. Nessa análise, deve-se identificar os termos de ontologia, epistemologia e os padrões de raciocínio nos quais as explicações são baseadas.

Para a segunda ferramenta, *abordagem comunicativa*, destaca-se:

É uma ferramenta de design que se concentra no discurso em sala de aula e fornece uma perspectiva sobre a forma como o professor interage com os alunos para desenvolver ideias sobre o plano social da sala de aula. (MORTIMER e SCOTT, 2003 apud RUTHVEN et al., 2009, pg. 11, TRADUÇÃO NOSSA)

Na sala de aula o discurso do professor pode estar associado a algumas variantes, autoritária e dialógica. Na dimensão autoritária, a autoridade (professor) comanda as ações para alcançar o ponto de vista científico. Já no discurso dialógico é possível o trabalho de vários pontos de vista, científico ou não, em que mais de uma pessoa pode opinar. O primeiro é voltado



para introdução iminente de um conteúdo, já o segundo é utilizado quando se quer explorar o conhecimento prévio dos alunos.

Leach et al. (2010) utilizam Ruthven (2009) para exemplificar o resumo de design, que já trabalhamos nesse capítulo. Para isso, se apoiam em duas *ferramentas de Design, a Demanda de Aprendizagem e a Abordagem Comunicativa* para abordar três conteúdos distintos, circuitos elétricos, nutrição de plantas e teoria de partículas simples. Desta forma, quanto o pensamos na terceira etapa do resumo de design, destacamos que:

As metas de ensino que introduzem um modelo da estrutura da matéria, abordam esta e várias outras demandas de aprendizagem - e há uma meta específica de ensino que importa em cada fase é feita do mesmo conjunto de partículas. Assim, esta segunda seção do resumo do projeto inclui decisões de projeto que, embora informadas por estrutura intermediária e evidência empírica, vão muito além delas. (LEACH et al., 2010 p12. , TRADUÇÃO NOSSA)

Além disso, os autores ainda utilizaram a ferramenta *Abordagem Comunicativa* para explicar a terceira etapa do resumo de design. Sendo assim, por meio de Leach e Scott (2010), temos mais uma amostra de como as ferramentas de design podem ser estruturantes do processo e corpo das TLS.

Outro trabalho que traz mais contribuições para a compreensão das funções e utilização das *estruturas intermediárias* e as *ferramentas de designs* é o de Kabapinar et al. (2004). Os autores, com apoio das ideias de Bakhtin (1981) e Vigotski (1987), relatam o papel crucial do professor. Ele (professor) necessita introduzir a linguagem social da ciência da escola, ou seja, uma nova linguagem social (BAKHTIN, 1981). Ao mesmo tempo, o processo de *internalização* de Vigotski (1987) é útil para compreender como a bagagem de conhecimentos inicial dos estudantes se relaciona com as novas concepções que a sociedade da sala de aula introduz. Ou seja, professor, além de ser responsável pela implementação da linguagem da ciência escolar, deve também ajudar os alunos tornarem-se, cada vez mais, capazes usufruir dessa linguagem de uma maneira independente, por meio da *internalização* (KABAPINAR ET AL., 2004).

Além disso, os autores introduzem a *demanda de aprendizagem*, apoiados pelas ideias de Leach e Scott (2002), aparentemente, criadores desta ferramenta. Como já vimos, essa ferramenta está ligada a relação entre as linguagens sociais na sala de aula, ou seja, as dos estudantes e a das ciências. São bastante interessantes os exemplos dados por Kabapinar et al. (2004) para entender essa diferença e os meios que podem ser tratadas:

Essas diferenças podem ser ontológicas ("o ar não é nada" em oposição a "pressão do ar é uma força"), ou devido aos conceitos traçados em um domínio particular ("a bebida se move para cima pelo canudo devido à sucção" em oposição a "A bebida se move para cima pelo canudo devido à diferenças de pressão"), ou devido a pressupostos epistemológicos ("explicações são válidas porque as pessoas entendem o que eu estou dizendo", em oposição a "explicações científicas devem ser

empiricamente coerente e coerente uns com os outros (KABAPINAR ET AL., 2004, pg.4, TRADUÇÃO NOSSA).

Com isso, a utilização das ferramentas de design, e, por conseguinte, os referenciais teóricos que as originam, *Grandes Teorias e Estruturas Intermediárias*, aparentam, para nós, cada vez mais certo, que são os elementos principais para definir os estruturantes de TLS. Paralelamente, o uso de algumas ferramentas já abordadas pode ser observado em outros trabalhos. Sendo assim, Savinainen et al. (2015) utilizam a demanda de aprendizagem de Leach e Scott (2002). Os autores, de um dos trabalhos mais recentes selecionado por nós, relacionam que essa ferramenta de design é moldada para confecções de TLS. Eles utilizam-se da demanda de aprendizagem para discutir e pesquisar os conceitos da terceira lei de Newton. Além disso, os autores trazem, em forma de tabela, a exemplificação de suas aplicações, semelhante aos trabalhos anteriores que também utilizavam tal ferramenta. Portanto:

<b>Aspectos da ciência escolar a serem abordados</b>	<b>Visões típicas dos estudantes</b>
<b>Aspecto ontológico:</b>	
A força é a propriedade de uma interação entre dois objetos	A força é uma propriedade inata ou adquirida dos objetos ("ímpeto")
<b>Aspectos conceituais:</b>	
A interação entre dois objetos implica que eles exerçam forças uns sobre os outros. A interação sempre cria um par de forças. O par de forças sempre tem a mesma magnitude e direções opostas (interação simétrica)	Objetos inertes ou inanimados não podem exercer forças. Quando um objeto repousa em cima de outro, apenas o objeto em cima exerce uma força. Um objeto maior ou mais ativo exerce uma força maior ("princípio de dominância")
<b>Aspecto epistemológico:</b>	
A noção de interação simétrica pode ser aplicada a todas as situações	A 3ª Lei de Newton é usada em algumas situações, mas não em outras, dependendo do contexto ou da representação da situação.

Figura 14 - Análise da demanda de aprendizagem do conceito de força (Traduzido e adaptado de SAVINAINEN et al., 2005, p.4)

Desta forma, se lembrarmos do *nível detalhamento minucioso* que desejamos para de TLS, a análise acima é um ótimo exemplo. Savinainen et al. (2017) apresentam algo que buscamos e é sempre importante para o desenvolvimento de sequências didáticas coesas e robustas. Não obstante, essa característica também está presente em outro trabalho dos autores.

Viiri e Savinainen (2008), comentam que suas TLS estão atreladas com as teorias construtivistas e socioculturais. Apesar disso, alertam que vários quadros teóricos têm sido utilizados para confecção dessas sequências. Os autores relatam novamente que a ferramenta de (*design demanda*) de aprendizagem nas sequências, porém, neste trabalho trazem outra, a “educational reconstruction”.

Refletindo um pouco mais, “demanda de aprendizado” (learning demand) baseia-se no aprendizado de Ciências pela valorização das concepções prévias dos alunos e suas noções de mundo (VIIRI e SAVINAINEN, 2008). Assim, o professor é um agente que desempenha papel de destaque na iniciação dos conteúdos científicos. Já a abordagem “reconstrução educacional” (educational reconstruction) é baseada na ideia alemã "Didaktik". Essa visão é composta pela conexão entre o conhecimento científico e as concepções de mundo dos alunos, para que juntas formem uma revolução na maneira de entender o ambiente ao redor do estudante. Para isso o estudante deve entender os pontos chaves (Key-points) dos conteúdos da ciência. Assim, o professor deve tornar o conteúdo acessível, de modo que o estudante consiga entender as abstrações das ciências e, desta forma, compreendê-las para “reconstruir” suas visões. (VIIRI e SAVINAINEN, 2008)

Na reconstrução educacional há o “segundo passo”. Nele ocorre a “elementarização” dos conteúdos, ou seja, passamos a entender os “elementos” importantes dos conceitos. Desta maneira, partimos da elaboração do assunto a ser abordado e com a reconstrução educacional buscamos a revolução das concepções prévias dos alunos e o entendimento dos conteúdos científicos. (VIIRI e SAVINAINEN, 2008)

Os autores apresentam as semelhanças e diferenças entre “demanda de aprendizado” e “reconstrução educacional” baseando-se em duas pesquisas diferentes. Eles destacam que seu trabalho é uma reflexão que visa ajudar os pesquisadores de ensino de física a entender melhor esses dois de ferramentas na hora de montar suas próprias sequências. Para isso, Viiri e Savinainen (2008) usam a tabela abaixo para confrontar as duas ferramentas.

	<b>Demanda de Aprendizado</b>	<b>Reconstrução Educacional</b>
<b>Função do conteúdo científico</b>	Menos análises sistemáticas do conteúdo científico. O conteúdo da ciência a ser ensinado é emoldurado por fazer uso da investigação dos pensamentos cotidianos dos alunos.	O ponto de partida: a análise inicial apenas do ponto de vista da ciência; o desenvolvimento histórico do conteúdo científico também é considerado.
<b>Função das teorias educacionais</b>	Baseada nas ideias Vigotskianas e a estrutura sociocultural.	Baseia-se na tradição alemã "Didaktik" e na cultura da pedagogia e ciências da educação
<b>Função da História das Ciências</b>	Particularmente não é importante	Importante na reconstrução do conteúdo científico
<b>As ideias dos alunos</b>	É uma ajuda valiosa para Ensino / aprendizagem; Dividido em conceptual, epistemológico, aspectos ontológicos; incluídos na análise da demanda de aprendizagem e do planeamento ensino.	Considerado uma ajuda valiosa para Ensino / aprendizagem; Tomado em consideração durante a Elementarização e Quando a conteúdo científico a ser ensinado é reconstruído
<b>Motivação dos Estudantes</b>	Não é explicitamente mencionado.	Mencionados explicitamente junto com atitudes.
<b>Metodologia de Ensino</b>	Não é explicitamente mencionado, mas relacionado às análises comunicativas.	Não é explicitamente mencionado.
<b>Processo cíclico</b>	Não é mencionado.	Sim
<b>Conteúdo Científico VS. Conteúdo Científico Escolar a ser ensinado.</b>	Uma analogia de ensino (Modelo simplificado) pode ser desenvolvida para abordar as demandas de aprendizagem identificadas	"Mais simples" do que a estrutura do conteúdo científico; as principais características do conteúdo científico são adequadamente adequadas.
<b>Alvo</b>	Desenvolver uma TLS baseada em evidências	Desenvolver uma TLS baseada em evidências

Figura 15 - Tabela de comparação entre demanda de aprendizagem e Reconstrução Educacional. (VIIRI e SAVINAINEM, 2008) Tradução: própria.

Conseguimos vislumbrar a importância do estudo anterior ao design da atividade. Com isso, começamos a entender o quão saudável é para o educador de ciências o contato com essas comparações dentro uma mesma perspectiva de ensino. Assim ele (educador) pode dominar maneiras de desenvolver uma atividade partindo de conceitos teoricamente estabelecidos, refletidos e pensados. Ademais, podemos entender ainda mais o potencial de estruturação que o uso das ferramentas de design traz para TLS, visto que, Viiri e Savinainen (2008) demonstram os pontos fortes e fracos de cada exemplo. Sendo assim, o professor, ao estipular grandes teorias, estruturas intermediárias e ferramentas deve fazer isso de maneira objetiva e reflexiva e não intuitiva ou arbitrária. Ou seja, o processo antes e após escolhas, deve ser feito de uma forma à atingir objetivos, em que suas teorias epistemológicas e cognitivas abranjam o conteúdo e o mundo dos estudantes, para que as ferramentas possam ser corretas e adequadamente estruturar toda a TLS.

## 2.5 PARAFUSAR PREGO COM MARTELO

Essa pesquisa durante todo o seu desenvolvimento passou por diversos momentos de alta complexidade. Ao mesmo tempo, essas etapas são pontos cruciais para a evolução e fortificação do próprio trabalho. Talvez o momento mais crítico tenha sido a escolha dos referenciais didáticos, cognitivos e epistemológicos mais adequados ao nosso tema e que, assim, dariam suporte ao processo de aplicação e criação das melhores ferramentas de design para a nossa sequência.

Um das maiores dificuldades que enfrentamos estava presente, justamente, na forma de utilizar as ferramentas propostas por nossos referenciais teóricos. Assim, se originou outras importantes reflexões: Como sabemos que essa ferramenta satisfaz os objetivos da SD? Como se constrói uma ferramenta de design e se explicita esse processo de construção? O debate e as respostas para tais perguntas não foram, e nem são, triviais. Uma das possibilidades de construção de respostas possíveis surgiu a partir do trabalho de Brockington (2005), quando ele apresenta o conceito de marcadores e suas relações com a transposição didática de um tema. Ademais, o autor indica diversas regras e parâmetros para a utilização dessa concepção na hora de desenhar uma sequência.

Essas noções podem ser utilizadas no momento que estamos visando o trato do conteúdo, em meio à sequência. Desta maneira, os marcadores mostram-se, ao fundo, como uma ferramenta de design. Após a leitura do trabalho do autor, pode-se facilmente identificar as grandes teorias e referenciais teóricos por trás do desenvolvimento desta noção e vislumbramos de que forma ela poder ajudar a construir uma sequência. Entretanto, devemos ponderar que Brockington (2005) não utiliza os arcabouços teóricos de Viiri e Savinainen

(2008) e Ruthven et al. (2009). Desta forma, embora seja possível relacionar os valores de marcadores do autor com as ferramentas de design, ele utiliza somente uma *grande teoria*, a Teoria da Transposição Didática de Chevallard, e não apresenta estruturas intermediárias.

Com isso, o processo de criação de uma TLS utilizando-se dos conceitos de Lijnse (2001), Méheut e Psillos (2004), Tiberghien et al. (2005) Viiri e Savinainen (2008) e Ruthven et al. (2009) pode ser bastante árduo se os *resumos de design* não forem compatíveis e se não mantivermos os *níveis de detalhamento minucioso*. Paralelamente, ao montarmos a SD vem à tona um problema geral de toda área de ensino: a replicabilidade das pesquisas ou de sequências didáticas, problema já retratado no "vão de credibilidade" destacado por Lijnse (2001). Todavia, uma premissa da DBR, o processo de redesign, pode auxiliar nessa dificuldade. Sendo assim, começaremos a delinear respostas às seguintes questões: Como sabemos que essa ferramenta satisfaz os objetivos da SD?

Para nós, o uso de ferramentas já estipuladas e aplicadas, só deve ocorrer se os *resumos de design*, no qual as ferramentas foram forjadas, e os contextos em que elas possivelmente seriam utilizadas forem compatíveis. Ou seja, se as grandes teorias, que precedem as ferramentas de design, contemplarem os conteúdos, nicho, currículo e aspectos epistemológicos dos objetivos das TLS (referencial e derivada). Desta forma, se uma TLS utiliza conceitos de Kuhn e Popper para trabalhar, por exemplo, as diferenças de força aristotélica e força newtoniana, essa SD dificilmente será útil, enquanto um objeto educacional já consolidado, para desenvolver uma sequência para o ensino de um conteúdo que não utilize epistemologia ou filosofia da Ciência, destacando, por exemplo, a mudança de paradigma científico ou a falseabilidade das teorias. Ademais, a compreensão dos valores e objetivos por trás das ferramentas, tanto dos trabalhos de referência quanto de seus derivados, ficará demasiadamente clara e mais fácil de apresentar *níveis de detalhamento minuciosos*. Desta forma, a partir dessa necessidade de produzirmos trabalhos que esmiúçam seus detalhes de construção, podemos fazer outra difícil pergunta: Como se constrói uma ferramenta de design e se explicita esse processo de construção?

A necessidade de rigor e *nível de detalhamento minucioso* de Leach et al. (2010) extrapola a função de demonstrar os aspectos teórico-metodológicos da pesquisa, mas também permite que outros pesquisadores possam entender as etapas que foram realizadas para que, assim, possam segui-las ou nortear-se para seguir outros caminhos. Por isso, considerando as questões anteriores, devemos entender que as respostas a estas perguntas devem possibilitar uma compreensão maior de como essa ferramenta é forjada. Segundo Ruthven et al. (2009), uma estrutura intermediária é criada a partir de grandes teorias epistêmicas e de aprendizagem.

Derivadas das estruturas secundárias, as ferramentas de design devem ser usadas para desenhar a sequência, a partir dos referenciais teóricos escolhidos. Por exemplo, Ruthven et al. (2009) utiliza a noção de modelagem (grande teoria epistêmica) de Bachelard (1979) e Hacking (1983; 2005) e teoria de aprendizagem de Vigotski (grande teoria de aprendizagem) para criar a estrutura intermediária Dois Mundos (*Two Words*), por conseguinte, suas ferramentas, *distância de conhecimento* e *a relações de modelagem*.

Desta forma, ao nos atentarmos às teorias e objetivos da Dois Mundos vislumbramos que ela é pouco adequada para nossa SD. Ou seja, há aspectos não ressonantes em nossos resumos de design e isso só é perceptível devido ao nível de detalhamento de ambas as pesquisas. Sendo assim, devido às particularidades do tema escolhido e público alvo, relatividade restrita e ensino superior, consideramos ser necessário que o conteúdo seja abordado por mais de duas visões. Ou seja, extrapola os “Dois Mundos”, principalmente sobre a visão de modelagem. Consideramos que no tratamento da teoria da relatividade existam “os mundos” do senso comum, da física clássica e da física relativística. Com isso, limitando o uso da ferramenta Dois Mundos em nossa pesquisa.

Paralelamente, dentro do processo de elaboração da estrutura da sequência é importante entendermos os papéis das ferramentas de design. Ou seja, é preciso compreender suas funções, as grandes teorias e os aportes teóricos que as originam, a fim de que possamos utilizá-las de maneira adequada. Portanto, a ferramenta demanda de aprendizagem trabalha diretamente duas visões de mundo e suas relações. Sendo assim, podíamos usá-la se nosso conteúdo estivesse nessa dicotomia cotidiano x científico. Entretanto, como salientamos antes, acreditamos que a Relatividade traz a mudança conceitual das teorias do “dia a dia” e da física clássica. Assim, ela rompe com os dois mundos em que a demanda de aprendizagem é baseada e criada. Por exemplo, ao tratarmos do tempo, podemos compreender que há uma modelagem do tempo no imaginário do público comum, outra dos cientistas clássicos e, por fim, uma terceira diferente das anteriores oriunda da Teoria da Relatividade

Como nessa pesquisa julgamos que a “Two Words” não é adequado ao conteúdo a ser abordado, suas derivações, a princípio, também não o serão. Segundo Ruthven et al. (2009) essa estrutura intermediária dá origem a duas ferramentas de design que são complementares: *Knowledge Distance* e *Modeling Relations*. Essa complementariedade se dá, pois, a primeira está ligada a sequência do conteúdo e a segunda visa o desenho detalhado das atividades de ensino. Como os autores expõem: “*Ambas as ferramentas de design são mais bem informadas pela grande teoria da epistemologia (Hacking, 1983; 2005) do que pela grande teoria de aprendizagem Vigotskiana*” (RUTHVEN et al., 2009, p.7). Com isso, a partir da fala destacada

dos autores, passamos a pensar sobre quais são os direcionamentos que as grandes teorias nos fornecem para a criação de uma ferramenta de design?

Em princípio, podemos apenas compreender que a ferramenta deve reunir aspectos das teorias. Ademais, elas são compiladas de partes e conceitos epistêmicos e de aprendizagem que estão presentes na estrutura intermediária. Ao analisarmos o trabalho de Tiberghien et al. (2005) aprofundamos a reflexão acerca das ferramentas de design, pois os autores também utilizam a “Two Worlds”. Eles evidenciam ainda mais as funções da demanda de aprendizagem e as relações de modelagem. Assim, podemos vislumbrar que essas ferramentas trabalham a relação direta dos modelos criados para um pensamento do mundo cotidiano e do conhecimento a ser ensinado. Além disso, há sempre a introdução por parte do docente de uma linguagem científica diferente e distante do cotidiano. Por conseguinte, essa linguagem científica traz uma nova epistemologia da natureza, e consigo explicações científicas de comportamento de eventos, teorias e causalidades. Com isso, novos modelos também passam a ser introduzidas por meio do conteúdo. Assim, relacionando as modelagens entre esses universos das ciências e cotidiano, por meio do conflito entre os resumos de design e a dificuldade de utilização da *Two Words* e suas ferramentas, e graças ao nível de detalhamento minucioso, entendemos o processo e necessidade de forjar novas estruturas intermediárias e suas ferramentas. Portanto, cada ferramenta deve possuir um significado neste processo e contribuir para que os objetivos finais da sequência didática sejam alcançados. Desta forma, precisamos entender quais aspectos iremos utilizar de nossas grandes teorias e como eles influenciaram durante o desenho da sequência didática. Assim, como Ruthven et al. (2009) propõe, entendemos que as ferramentas podem possuir objetivos diferentes, mas, paralelamente, complementares.

Resumindo, neste capítulo apresentamos os trabalhos que são os referenciais e norteadores de nossa pesquisa. Ao aprofundarmos teoricamente nesses autores, surge uma pergunta a ser levada até o fim por essa pesquisa: como produzir uma TLS didaticamente adequada, viável de ser aplicada no contexto real de sala de aula, eficaz na produção de aprendizagens e que, ao mesmo tempo, tudo isso não esteja exclusivamente dependente dos aplicadores ou desenvolvedores? Tal pergunta precisa ser respondida caso se deseje, minimamente, generalizar a aplicação de uma sequência didática produzida por determinados professores ou pesquisadores. É preciso deixar claro que não temos a ilusão, tampouco a ingenuidade, de imaginar que as condições e circunstâncias de aplicação não são fundamentais no processo de ensino-aprendizagem.

Por fim, devemos destacar o valor da DBR e TLS na pesquisa científica e no ensino. Ainda que possuam limitações e saibamos que ambas não são panaceias para dificuldades do



ensino de Física, inúmeras pesquisas mostram resultados que revelam a potencialidade da DBR e TLS para melhorarmos não apenas o processo de ensino-aprendizagem no contexto real da sala de aula, mas, principalmente, para a produção de pesquisas em Ensino de Ciências mais robustas e mais prováveis de serem replicadas. Portanto, as duas metodologias podem auxiliar o professor a compreender de maneira mais completa a complexa ação de desenvolver sequências de ensino e aprendizagem. Além disso, tanto TLS quanto DBR buscam fornecer métodos e técnicas de design para estruturar e dar coesão às SD. Para isso, necessitam de preparo, dedicação, estudo e reflexão.

Ao utilizar estes referenciais, refletimos acerca do indivíduo, *o designer*. Em nossa pesquisa, então, partimos do pressuposto da existência de estruturantes de sequências didáticas e buscamos reconhecê-los e explicitá-los, indo além da naturalização daquilo “que funciona ou não funciona” em sala de aula. Após a revisão das teorias fica-se claro que tais estruturas existem, são complexas e possuem referenciais teóricos próprios que dão origem a metodologias específicas. Mesmo assim, devemos entender que é impossível se desvincular dos vieses e valores pessoais e intuitivos. Porém é imprescindível pontuarmos que tais valores podem ser atenuados e não devem fazer parte do núcleo rígido de Lijnse (2001). Ou seja, tanto sequência como estrutura não devem ter sua eficácia ligada aos valores particulares dos desenvolvedores, para que, assim, possam ser reaplicadas em outros nichos e contextos escolares reais.

### 3. METODOLOGIA

Nesse capítulo, iremos apresentar a metodologia dessa pesquisa. É importante destacar que, após uma série de reflexões, entendemos que essa pesquisa possui dois tipos de resultados. O primeiro é a criação das ferramentas e atividades, já o segundo, são os dados oriundos da aplicação de tais atividades. Desta forma, é imprescindível que esse capítulo seja dividido em seções, na quais, algumas são destinadas ao processo envolto da criação das atividades e outras ao método de análise dos dados. Portanto, da seção 3.1 até a 3.5 será apresentado ao leitor o desenvolvimento da pesquisa, processos de criação das ferramentas, confecção das atividades e como elas compõem o curso. Por conseguinte, a seção 3.6 é destinada a metodologia de análise e coleta dos dados.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa se iniciou a partir da revisão bibliográfica, com intuito de compreender melhor o campo de desenvolvimento das pesquisas no Brasil e no mundo sobre Teaching-Learning Sequences, Design-Based Research, ensino de relatividade e ensino superior. Após todo levantamento feito, passamos por um intenso processo de reflexão acerca dos estruturantes das sequências didáticas. Com isso, chegamos à conclusão que os trabalhos de Lijnse (2001), Méheut e Psillos (2004), Tiberghien et al. (2005) e Kneubil e Pietrocola (2017) e outros demonstram as funcionalidades e potenciais da TLS e DBR. Ademais, acreditamos que os processos e conceitos expostos por Viiri e Savinainen (2008) e Ruthven et al. (2009) corroboram para diminuir o vão de credibilidade da pesquisa educacional (LEVIN E O'DONNELL, 1999 apud DBR-COLLECTIVE, 2003), já que, essas pesquisas apresentam nível de detalhamento minucioso (LEACH et al., 2010). Além disso, Ruthven et al. (2009) é de grande inspiração para nós, pois por meio desse trabalho, encontramos possíveis estruturantes de uma sequência didática: as grandes teorias, estruturas intermediárias e ferramentas de design.

Após a conclusão de nossos estruturantes, a pesquisa voltou-se à teorização de nossas grandes teorias e, assim, criamos nossas estruturas intermediárias e ferramentas. O processo de construção de novas ferramentas de design se deu, pois ao refletirmos, a partir dos referenciais teóricos que usamos, concluímos que nosso resumo de design não estava de acordo daqueles que as pesquisas anteriores haviam sido aplicadas. Portanto, esse processo ocorreu de uma forma extensa e antes da construção da sequência para o curso (podendo ser melhor entendido na subseção ferramentas de design deste capítulo). Feito isso, partimos para confecção e aplicação da sequência didática da pesquisa para avaliar os estruturantes que criamos.

As sequências didáticas desenvolvidas a partir dos referenciais e ferramentas criadas ou reutilizadas foram aplicadas por um professor em um curso de licenciatura em ciências com nosso auxílio presencial. Elas foram aplicadas na disciplina eletiva (opcional) de Relatividade Restrita, no curso de licenciatura em ciências – habilitação em Física – da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP – campus Diadema. Sem pré-requisitos, o curso teve 10 alunos matriculados inicialmente. As aulas ocorreram às sextas-feiras, das 14:00 às 18:00. Infelizmente, das 18 aulas programadas no calendário da faculdade, somente 10 foram aulas de conteúdos e atividades. Isso ocorreu porque 4 feriados ou emendas de feriados caíram na sexta-feira, um evento da universidade que era obrigatório a dispensa dos alunos para participação (Semana Científica e Cultural da UNIFESP Diadema - SCCUD), dois dias de avaliação, um dia para o exame e, por fim, uma aula transferida, pois o professor parceiro teve que se ausentar por uma semana da faculdade, devido a um problema de saúde.

Sendo assim, esse processo iniciou-se em agosto de 2017 e foi finalizado em dezembro do mesmo ano, totalizando 5 meses de aplicação. É importante destacarmos que uns dos principais limites da DBR se fez presente nessa pesquisa, pois devido ao número de alunos, aplicadores e finalização da dissertação, não tivemos tempo hábil para um processo de reaplicação e redesign. Isso gerou controvérsias acerca da adequação teórica ao fazermos uso da DBR durante a pesquisa. Entretanto, pudemos contemplar outros aspectos da Design-Based Research durante nosso trabalho. Por fim, o processo de análise dos dados ocorreu no primeiro semestre de 2018, fechando, assim, um ciclo de 24 meses de desenvolvimento, criação, estudo, aplicação e análise desta pesquisa e seus resultados.

### 3.2 PARA A CRIAÇÃO DO CURSO

#### 3.2.1 O processo e a necessidade

Um dos pressupostos do uso da TLS e DBR é que o professor guie-se por estruturantes teóricos que norteia-o na construção de uma sequência didática. A esses estruturantes creditamos as *grandes teorias e estruturas intermediárias*. Portanto, o designer deve determinar muito bem quais teorias são adequadas a seus propósitos e como utilizá-las. Desta forma, nesse processo há uma divisão clara entre as capacidades criativas e valores pessoais dos desenvolvedores e requisitos e ações pautadas em uma teoria. Por isso, não visamos a uma “receita de bolo” ou um desenvolvimento engessado, mas uma articulação entre o profissional docente e as teorias centrais, ao invés de criações exclusivamente personalizadas, guiadas unicamente pela intuição e experiências prévias. Contudo, temos clareza que não é possível, tampouco desejável, excluirmos as características que cada indivíduo desenvolvedor possui. Já

está bastante compreendido no âmbito de algumas pesquisas em educação e psicologia que somos todos formados dentro de um vasto mundo cultural, que, assim, influencia não somente visões de mundo num sentido mais amplo, mas também as escolhas de determinadas teorias educacionais, epistemológicas e pedagógicas utilizadas na profissão docente. Entretanto, ainda que seja inegável os vieses particulares, defendemos uma reflexão preliminar, um esforço na compreensão e no desvelamento daquilo que está presente em todo resumo de design para que possamos escolher de maneira consciente e fundamentada quais serão os melhores aportes teóricos a serem utilizadas quando pesamos na criação de uma sequência didática.

Além do mais, defendemos o uso dos estruturantes para que aqueles que não possuem tal conhecimento e, principalmente, no caso de muito professores, que não têm tempo ou oportunidade para adquiri-lo, possam compreender os processos de escolhas e desenvolvimento das sequências. Ademais, é necessário uso de *grandes teorias cognitivas e epistemológicas e estruturas intermediárias* adequadas para trabalharmos os conteúdos da melhor forma possível. Ou seja, atrelamos ao processo de design uma necessidade de teorização e norteamento pelos estruturantes de uma forma que o processo fique coeso, coerente, teoricamente fundamentado e com nível de detalhamento para quem o desenvolve ou que queira utilizar seus produtos futuramente. Portanto, a partir de *grandes teorias*, criamos *estruturas intermediárias* e *novas ferramentas de design* para estruturar da forma mais adequada possível sequência didática sobre relatividade.

O árduo processo de compreensão da TLS contribui para um enriquecimento da concepção de design de sequências. Assim, ao debruçarmo-nos em nosso objeto de pesquisa, um curso de relatividade para ensino superior, vimo-nos em meio a um montante enorme de subsídios teóricos, porém pouco práticos para nós. Ou seja, tínhamos uma vasta bibliografia, porém, nela, não havia ferramentas de design capazes de abranger o conteúdo que deveria ser por nós trabalhado. Tal fato levou-nos a criar nossas próprias *ferramentas* e *estruturas intermediárias*, como proposto por Ruthven et al. (2009).

Como vimos em Ruthven et al. (2009), a estrutura intermediária “*Os dois mundos*” dá origem às ferramentas de design *distância de conhecimento* (The Knowledge Distance tool) e *relações de modelagem* (The Modeling Relations tool). Todavia, para os autores, as *estruturas intermediárias* são oriundas de *grandes teorias*, de Bachelard e Vigotski. Sendo assim, exemplificamos o processo de criação das ferramentas de design com o esquema a seguir:

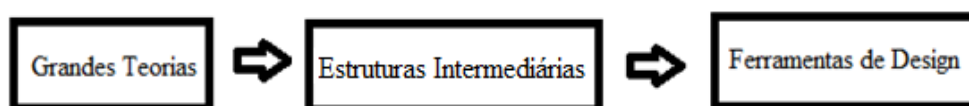


Figura 16 - Esquematização do processo de criação das ferramentas de design.

Com isso, seguindo esse esquema, entendemos que não precisávamos ficar presos às ferramentas de design disponíveis na literatura (já citadas no referencial teórico), usadas para trabalhar conteúdo da física clássica. Com isso, ao pensarmos nas especificidades da relatividade especial, conseguimos contornar essa dificuldade e criar nossas próprias estruturas intermediárias e ferramentas.

A partir disso, o processo de criação, como dito no parágrafo anterior, começou na reflexão dos limites das ferramentas existentes e nas diferenças do conteúdo a ser abordado. Tal fato levou a duas conclusões: ao invés de dois mundos, nós trabalhamos três mundos ao mesmo tempo (cotidiano, físico clássico e físico relativístico).

Sendo assim, para nossas estruturas intermediárias nos utilizamos de teorias da natureza e filosofia das ciências e o aporte das concepções de aprendizagem de Vigotski. Desta forma, o que diferencia o uso da grande teoria para estrutura intermediária é justamente o recorte que o designer irá fazer. Com isso, devemos ao máximo entender os aspectos epistemológicos e cognitivos acerca dos conteúdos a serem abordados nas sequências didáticas e atividades. Assim, esses aspectos irão mesclar-se e transformar-se em uma estrutura intermediária. Essa, por sua vez, apresentará pontos a serem explorados para criação de ferramentas de design.

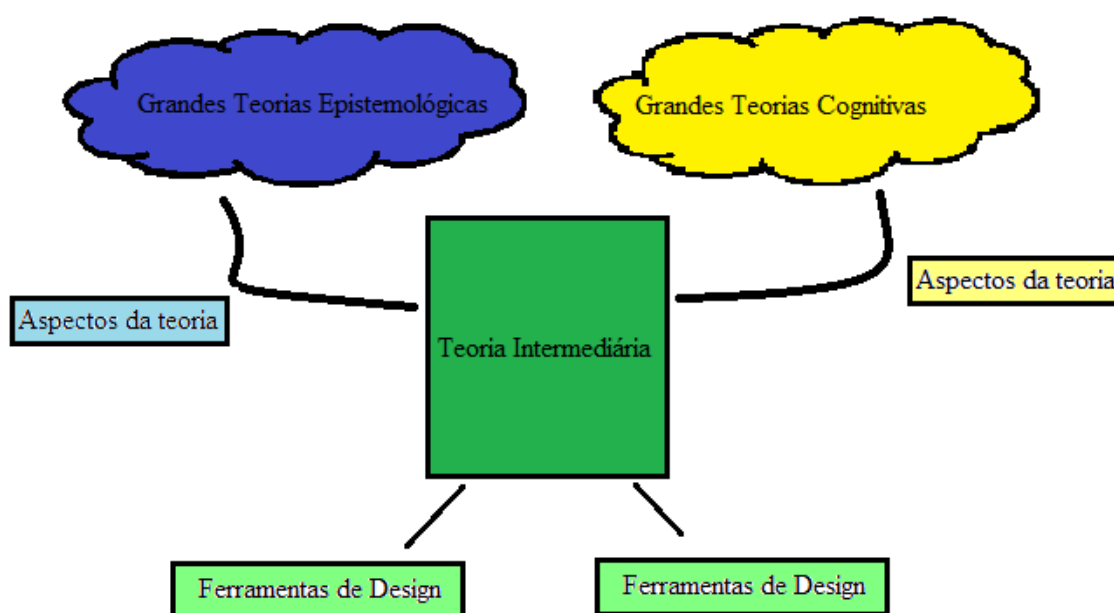


Figura 17 - Nuances e aspectos que reverberam desde grande teoria até a ferramenta de design

### 3.2.2 Nossa estrutura intermediária

Em nossa sequência, criamos nossa estrutura intermediária “Situações Complexas Polissignificativas”. Neste âmbito, tomamos como referência as concepções de Vigotski, cujas implicações para a compreensão sobre ensino e aprendizagem são enormemente reconhecidas. Entendemos que os fundamentos da obra de Vigotski oferecem um importante lastro para a organização do que propormos acerca da Teoria da Relatividade Restrita.

O aporte da Teoria Histórico-Cultural acentua que o chamado desenvolvimento das funções psíquicas superiores acontece como consequência das ações de aprendizagem. Isto significa que a atividade de ensino deve ser cuidadosamente elaborada pelo professor para que ele seja capaz de levar os alunos à realização da atividade de estudo (BERNARDES, 2009).

A teoria desenvolvida por Vigotski e seus colaboradores é densa e sua completa apropriação foge ao escopo deste trabalho. No entanto, é crucial que a consideremos para que alcancemos aquilo que pretendemos defender. Das suas elaborações, extraímos o conteúdo que diz respeito ao processo de constituição dos conceitos a partir das ideias de signo, significado e sentido. O signo diz respeito ao instrumento psicológico, uma instância capaz de orientar internamente o processo de significação. O significado relaciona-se ao processo de abstração, é aquilo que se estabelece a partir do vínculo entre linguagem e pensamento. Ao conceitualizar determinados objetos no mundo compartilhamos, então, seus significados. O sentido, por sua vez, emana destes significados compartilhados, mas, relaciona-se, intimamente, à aspectos singulares, temporal ou emocionalmente caracterizados. O sentido é, portanto, completamente subjetivo. Diferentes contextos e especificidades oferecem nuances peculiares à apropriação das experiências para cada sujeito (VIGOTSKI, 1996).

A compreensão a este respeito nos é importante, uma vez que nos ajuda a materializar a necessidade de que um determinado conceito explicitado por um mesmo signo linguístico (como por exemplo a ideia de tempo) seja reestruturado no interior das diferentes construções teóricas estabelecidas no interior da Física Clássica e da Física Moderna. Para que um determinado significado se altere ou evolua é imprescindível que compreendamos como as atividades de aprendizagem se relacionam com a materialidade da vida cotidiana. Assim, muito provavelmente se um professor deseja alcançar a reformulação de um determinado significado ele precisa apropriar-se dos rumos a partir dos quais este conceito foi estabelecido, ou seja, é crucial que se reconheça quais ideias ou significados associados estiveram na base da composição da ideia original, de modo que este caminho possa ser retomado e, então, reformulado.

Além disso, do aporte da Psicologia Histórico-Cultural consideramos a noção metodológica que explicita como se dão os processos de análise, significação ou apropriação da realidade. Vigotski, a partir dos pressupostos do Materialismo Histórico-Dialético acentua que o movimento do pensamento, necessário para a compreensão de um determinado fenômeno organiza-se a partir do abstrato, atinge o concreto para, então, elevar-se ao abstrato mais uma vez. Isto quer dizer que o movimento de abstração, como função do pensamento (que só se constitui por meio das relações materiais de ensino e aprendizagem) é o que permite a apropriação do concreto, fazendo dele o que se chama de concreto pensado. O confronto com o concreto, então, possibilita a reformulação ou sofisticação dos conceitos, uma vez mais, no âmbito do abstrato, agora reformulado (DUARTE, 2000). Esta noção, portanto, complementar à anterior, elucida o modo por meio do qual um significado pode ser alterado.

Para os aspectos epistemológicos utilizamos mais de um referencial teórico, pois buscamos as teorias que melhor contemplavam a relação com os conteúdos a serem trabalhados ou com os objetivos que almejávamos alcançar com a SD. Desta forma, para algumas estruturas foram utilizadas compreensões epistemológicas distintas ou mesmo teóricos diferentes.

Outro aspecto da teoria de aprendizagem de Vigotski que foi utilizado em nossa estrutura intermediária foi o processo de ressignificação e relação signo/significado. Dada a disparidade de significado que alguns termos adquirem na relação Física Clássica x Física Moderna, é muito comum perceber os conflitos no momento de compreendê-los. Desta forma, entender a relação signo/significado proposta por Vigotski é essencial para uma compreensão profunda de algumas das implicações da teoria da relatividade, pois ela só pode acontecer caso haja um processo de ressignificação de termos bastante consagrados da física ou vida cotidiana.

Com isso, diretamente ligada a essa mudança de significados de alguns signos está também a quebra de paradigma científico. Como já é de conhecimento geral na área, o rompimento do paradigma físico clássico para o relativístico é coberto por processos de ressignificação de vários termos. Desta forma, Kuhn (1987) e Popper (1985), são nossos epistemólogos, cujas teorias são essenciais para entender as mudanças ocorridas no interior das ciências e do fazer científico. As obras destes autores contribuíram para uma mudança de pensamento e método de como “se faz” e “o que é” ciência. Assim, os valores e tendências indutivistas precisam ser abandonados para dar lugar a uma compreensão diferente das teorias e leis científicas. Como resume SILVEIRA (1992):

[...]1) A observação e a experimentação por si sós não produzem conhecimento. O "método indutivo" é um mito. [...]3) O conhecimento científico é uma construção humana que tem como objetivo compreender, explicar e agir sobre a realidade. Não podendo ser dado como indubitavelmente verdadeiro, é provisório e sujeito a reconstruções. [...]5) A aquisição de um novo conhecimento é sempre difícil e

problemática. Os cientistas são relutantes em abandonar as teorias de suas preferências, mesmo quando parecem conflitar com a realidade. O abandono de uma teoria implica em reconhecer outra como melhor. [...] (SILVEIRA, p.38, 1992)

Por fim, é importante destacar que os trabalhos de Kuhn (1987) e Popper (1985) permitem trabalharmos revoluções e crises presentes no desenvolvimento científico. Assim como assim as ciências possam por processo revolucionários de mudanças, os signos também passarão por processos semelhantes dentro das atividades, desta forma, transformando seus significados. Ou seja, Kuhn (1987) e Popper (1985) estão em uma esfera “mais alta” (grandes teorias), aspectos de suas contribuições estão em um caráter mediano (estrutura intermediária) e a variação de como compreendemos a natureza e significado de um signo nas diferentes áreas da vida cotidiana, física clássica e física moderna, está em uma esfera muito mais próxima da atividade (ferramenta de design). Sendo assim, segue o quadro abaixo detalhando os aspectos de nossa estrutura intermediária:

Situações Complexas Polissignificativas
<p><b>Grande Teorias Cognitivas</b></p> <p>Vigotski - Ressignificação; Aprendizagem a partir do complexo</p> <p><b>Grande Teorias Epistemológicas</b></p> <p>Popper (1985) - Indutivismo; Falseabilidade das Ciências</p> <p>Kuhn (1987) - Revolução Científica; Crise de um paradigma</p>

Figura 18 - Resumos das grandes teorias presentes na estrutura intermediária situações complexas Polissignificativas

### 3.2.3 Nossas Ferramentas de Design

#### 3.2.3.1 *Multidimensões*

A partir de nossa estrutura intermediária “Situações complexas Polissignificativas” criamos uma ferramenta de design que nomeamos como *Multidimensões*. Com base nas ideias de Vigotski para aprendizagem, utilizamos a ideia de signo e significado. Ademais, ao lembrarmos da ferramenta demanda de aprendizagem (RUTHVEN et al., 2009; TIBERGHIE, 2005; LEACH e SCOTT, 2002) em que essa compilava a trilha de aprendizado do aluno entre mundo cotidiano e o mundo do conhecimento físico, vislumbramos a necessidade de criação de uma ferramenta capaz de acessar novos mundos. Pois, entendemos que na Física Moderna seus significados, como tempo e simultaneidade, se diferenciam daqueles do mundo cotidiano e da física clássica. Neste novo paradigma científico, há noções entre física clássica e moderna e o cotidiano (ou dimensões). Assim, a própria epistemologia dos temas principais se altera.



Em vista disso, criamos a *Multidimensões* que visa o encontro ou debates dos significados dos signos. Ou seja, a partir das epistemologias de cada mundo (Cotidiano; Físico Clássico e Moderno) construímos atividades que possam relacionar a concepção de *Tempo* entre esses universos e suas visões epistemológicas.

O tema de trabalho do nosso curso é a teoria da relatividade especial. Desta forma, aqueles que dominam ou conhecem o assunto sabem que o conceito de Tempo é drasticamente ressignificado, assumindo, assim, uma conotação completamente distinta do que usualmente se acredita. Por isso, devemos destacar mais de uma visão epistemológica, visto que essas visões coexistem a todo o tempo na cabeça do estudante no momento da aprendizagem.

#### 4.1.3.1.1 Tempo cotidiano

No trabalho de Martins (1998), temos contato com a noção de tempo desenvolvida ao longo da história. Povos como os babilônios, egípcios, gregos e, de modo preciso, os maias, consideravam o tempo como ciclo dos astros ou da natureza. Desta forma, a concepção deste conceito permeava a mítica e a religiosidade. Ademais, usavam calendários que variavam em sua construção e referenciais, pois alguns eram regidos pelo sol, lua ou um fenômeno natural como a cheia de um rio. Com isso, é possível ver que o Tempo assume duas facetas: ou é uma divindade que rege esses ciclos ou é um ente da natureza.

Segundo Martins (1998), existiram pensadores que fugiram, em parte, dessas visões. O primeiro, Zaratrusta, apresenta ideias bastante diferente. Para ele, o tempo assume duas construções, uma finita e outra infinita, na qual, somente a primeira pode ser divisível em pequenos instantes. Já Heráclito entende que as coisas estão em uma contínua mudança, desta forma, essa variação acontece no “fluir do tempo”. Ainda segundo o autor, Parmênides tentava entender o que é e a relação entre passado, presente e futuro. Estes questionamentos irão refletir nos pensamentos de Platão e Aristóteles (MARTINS, 1998).

Em suma, na antiguidade, a ontologia do tempo, aparentemente, passava por concepções de algo natural ou mítico, incontável, e sentido por meio de mudanças e ciclos. Assim, essa noção de transformações perpassa por momentos passados, presentes e futuros. Platão atribui a criação do universo como deus colocando ordem no caos e, com isso, criando o tempo (MARTINS, 1998). Ademais, esse mesmo deus não está imerso na esfera temporal, pois como aponta Martins, nela as coisas se transformam no tempo, e como deus é um ente perfeito, ele não pode ser transformado.

O conceito de tempo, ainda que possuísse eventos acontecidos, acontecendo e a acontecer, não era linear em sua totalidade. Isso ocorre, pois as ideias eram baseadas em ciclos, ou seja, existia uma visão de retorno. Segundo, Martins (1998) essa “linha temporal” ou

linearidade do tempo é uma herança do cristianismo que afetou a visão ocidental a cerca deste conceito. Assim:

“Uma vez que consideravam a crucifixão um evento não passível de repetição, o tempo devia ser linear, e não cíclico. Esta visão essencialmente histórica do tempo, com sua ênfase particular na não-repetibilidade dos eventos, é a própria, essência do cristianismo” (WHITROW, 1993, p.72-73 apud MARTINS, 1998, p.82)

A princípio, a evolução do conceito teve grandes influências de eventos e mártires religiosos. Martins (1998) aponta que Santo Agostinho, ao questionar se deus criou o tempo ou se o tempo existia antes da criação, sugere a existência de uma divisão em que o passado já não existe, o futuro ainda está por vir. Porém, para o presente ele alega uma necessidade de divisões (anos, dias etc.) para atribuir “realidade”, embora nestas divisões haja eventos passados e futuros. Com isso, o presente não possui duração alguma (MARTINS, 1998).

Desta forma, Agostinho, semelhante a Plotino e Parmênides, distancia o conceito de tempo da relação ao movimento dos corpos (celestes ou não). Além disso, correlaciona a memória a algo passado que é evocado no presente (MARTINS, 1998). Ademais, “[...] *visões futuras são prognósticas de coisas presentes que já existem, não existindo de fato*[...]” (MARTINS, 1998, P.84). Seus conflitos acerca do que é o tempo, levam-no a refletir o que seria a medida desse conceito, assim, “[...] *Agostinho diz que, quando mede os tempos, o faz por via de seu espírito. As expectativas futuras passam pelo espírito em direção à memória, deixando uma impressão que permanece* [...]” (MARTINS, 1998, P.85).

Embora Agostinho tenha distanciado a relação de movimento, São Tomás de Aquino volta a essa vertente utilizando uma divisão em três tipos de tempo. Um que está no plano terrestre, possui começo e é finito. Outro, o tempo dos anjos, ideias e corpos celestes, que tem início, mas não fim. Por último, aquele que relaciona a deus, o tempo da “eternidade atemporal” (MARTINS, 1998).

Um dos povos que mais contribuíram para enriquecimento cultural e científico da humanidade, os árabes, também influenciaram o conceito de tempo e suas medições. Eles introduzem a ideia de um tempo atomista, descontínuo. Devido à crença religiosa, surge uma necessidade da melhoria da marcação, gerando o desenvolvimento da construção de relógios. Ademais, os chineses também contribuem para evolução dos aparelhos de medidas. (MARTINS, 1998). Segundo o autor, a crença também auxiliou desenvolvimento dos relógios na Europa, durante e após a idade Média. Desta forma, a evolução se estendeu até os séculos XIV e XV com o surgimento de relógios algibeira, de areia e ampulheta. Além disso, Martins frisa que, durante essa época, surgem os relógios públicos, fazendo com que a população possa

“contabilizar” mais esse tempo. Ou seja, iniciaram as marcações de horários determinados para atividades:

“[...] Horários fixos passam a ser estabelecidos para uma série de atividades, principalmente no que se refere ao estudo e ao trabalho<sup>18</sup>. Encontramos certamente, nessa época, de profunda transformações da maneira como o tempo é vivenciado por um cidadão comum de nossa sociedade contemporânea. [...]” (MARTINS, 1998, p.88)

#### 4.1.3.1.2 Tempo físico clássico

A Física Clássica, lecionada nos cursos de Física Básica (geralmente divididas em Física 1, 2, 3 e 4, tanto nas graduações quanto nos livros didáticos) está alicerçada nas ideias primordiais de Newton, tanto que conhecemo-las como Física Newtoniana. Desta forma, é fácil entender como a noção de Tempo de Isaac Newton é utilizada em todos os ramos dessa ciência. Segundo Jammer (2006), Newton considerava o tempo como absoluto. O autor indica que essa visão não é originária dele, pois aponta-se que o físico foi influenciado pelas ideias de Isaac Barrow (1669), contidas no trabalho *Lectiones Geometricae*. Barrow se desvincula da noção tempo aristotélica, no qual, esse conceito estava ligado ao movimento:

“[...] Em *Lectiones Geometricae* Barrow escreveu[...] [...] : "Assim como o espaço existia antes do mundo ser criado e até agora existe um espaço infinito além do mundo (com o qual Deus convive) [...] Portanto, o tempo existe antes do mundo e simultaneamente com o mundo (*prius mundo et simul cum mundo*) ". Ele perguntou então se a noção de tempo implica o conceito de movimento e respondeu: "De modo algum, a natureza absoluta e intrínseca é Preocupado[...] Se as coisas correm ou param, se dormimos ou acordamos, o tempo flui em seu tenor uniforme (*aequo tenore tempus labitur*). Mesmo que todas as estrelas permanecessem nos lugares onde foram criadas, nada teria perdido o tempo (*nihil inde quicquam temporis decessisset*). As relações temporais anteriores, posteriores e simultaneidade, mesmo naquele estado tranquilo, teriam tido sua própria existência (*prius, posterius, simul etiam in illo tranquillo statu fuisset in se*) [...]” (BARROW (1669) APUD JAMMER, 2006, P.69)

Jammer (2006) relata a importância do uso da ideia de um tempo absoluto, até então, nunca descrito. Além disso, isso “[...] reverbera no Scholium de Newton aos Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, que diz: "Tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só, e por sua própria natureza, flui de forma equitativa sem relação com qualquer coisa externa" [...]” (JAMMER, 2006, p.70). Assim, o autor reflete que isso implica, fisicamente, a uma “*simultaneidade absoluta*”, ainda que, esse termo não tenha sido usado na física clássica anteriormente. Ainda segundo Jammer (2006), Barrow apresenta uma reflexão acerca da simultaneidade, na qual “[...] os processos, que começam simultaneamente e terminam simultaneamente, duram tempos iguais [...]” Barrow, conclui que o tempo é *fluxo contínuo de um instante* (BARROW, 1669 apud JAMMER, 2006, p.71). Desta forma, ele influencia diretamente nossa noção de tempo no cotidiano e nas ciências clássicas, pois afirma que: “[...] devemos, portanto, sempre representar o tempo por uma linha direta [...]” (BARROW, 1669 apud JAMMER, 2006, p.73).

A partir desse momento conseguimos visualizar as influências de Barrow (1669) nos trabalhos de Newton. Ambos se debruçaram nos problemas de medição de tempo, movimentos e simultaneidade. Segundo Jammer (2006), a concepção de Newton para a medição deste tempo absoluto, em diversos locais, com os conhecimentos do trabalho de Gassendi, era:

Existe uma relação muito diferente entre eles. . . Espaço e duração. Pois não atribuímos várias durações às diferentes partes do espaço, mas afirmamos que todos permanecem juntos. O momento de duração é o mesmo em Roma e em Londres, na Terra e nas estrelas e em todo o céu. E assim como compreendemos qualquer momento de duração para ser difundido em todos os espaços, de acordo com seu tipo, sem qualquer pensamento de suas partes, então não é mais contraditório que a *mens* também, de acordo com seu tipo, possa ser difundida através do espaço sem qualquer pensou em suas partes.(NEWTON apud JAMMER, 2006, p.72, TRADUÇÃO NOSSA)

Além disso, autor destaca a confusão que Newton faz em relação ao tempo e espaço devido suas crenças religiosas. Destaca-se a fala do cientista na segunda (1713) e terceira (1727) edição do Principia:

Ele é eterno e infinito, onipresente e onisciente. . . Ele permanece para sempre, e está presente em todos os lugares, e, ao existir sempre e em todos os lugares, ele constitui duração e espaço. . . Como todas e cada uma das partículas do espaço é sempre e cada momento indivisível de duração está em todos os lugares, certamente o criador e o senhor de todas as coisas nunca serão nem nunca. . . Deus é um e o mesmo Deus sempre e em todos os lugares (NEWTON apud JAMMER, 2006, p.73, TRADUÇÃO NOSSA)

Desta forma, novamente, a religião surge como um aporte para o entendimento do que é o tempo. Segundo Jammer (2006), Newton ainda credita a Deus a medição do mesmo tempo em *eventos* espacialmente distantes, visto que, um humano não pode “sentir” esses dois eventos longínquos simultaneamente. Ou seja, somente um ser onipotente, onipresente e onisciente. Assim:

"Não parece dos fenômenos que existe um ser incorpóreo, vivo, inteligente e onnipresente, que no espaço infinito, como estava em sua sensorial, vê as coisas em si mesmas e as percebem completamente, e as compreende inteiramente por sua presença imediata para si mesmo ". (NEWTON apud JAMMER, 2006, p.74)

Entretanto, os físicos pós-newtonianos não partilhavam da mesma visão de tempo e simultaneidade de Newton. Assim, embora suas contribuições fossem extremamente valiosas para o desenvolvimento da Física, as concepções de suas crenças não eram válidas para seus sucessores (JAMMER, 2006). Segundo Jammer (2006), John Locke, apesar de admirar o *Principia*, não partilhava de aprovação dos conceitos de tempo de Newton. Locke atribuía a noção de medição e tempo, a medida do relógio. Ele antecipa Leibniz, Einstein e até mesmo Minkowski em relação ao espaço-tempo (JAMMER, 2006).

“Expansão e duração se abraçam mutuamente e se compreendem mutuamente; cada parte do espaço está em cada parte da duração, e toda parte da duração em cada parte da expansão. Essa combinação de duas ideias distintas é, eu supponho, escasso para ser

encontrada em toda a grande variedade que fazemos ou concebemos, e pode dar lugar a mais especulações"(LOCKE apud JAMMER, 2006, p.77, TRADUÇÃO NOSSA)

Locke não foi o único a discordar de Newton. Barkley, devido a sua concepção de que as coisas para existirem devem ser sentidas, também era contrário ao pensamento divino. Para ele, o tempo "[...] consiste apenas em transmitir sensações na mente dos seres percipientes, é inteiramente relativo a eles e assim pode diferir de pessoa para pessoa [...]" (JAMMER, p.77, 2006). Junto a ele tínhamos Leibniz que também contribui para o pensamento de tempo não absoluto.

Entre essa dicotomia surge Kant. Segundo Jammer (2006), para Kant, o tempo não é derivado dos sentidos, mas é pressuposto por eles. Ademais, "[...] "é somente por meio da representação do tempo que Um reconhece se os eventos são simultâneos ou sucessivos "e que" a sucessão não gera tempo, mas sim apela a ele " [...]" (Kant apud Jammer). Assim, para o filósofo, o conceito de tempo não era uma grandeza empírica. Ele atribui três regras em relação ao tempo. Para entendê-las destacamos falas de Jammer (2006) acerca do assunto:

Para a primeira

Simultaneidade e sucessão, e, portanto, todas as mudanças de fenômenos, podem ser representadas apenas no tempo como o substrato. O próprio tempo, portanto, não pode mudar, mas o próprio tempo não é experimentado e, portanto, deve ser representado por um substrato permanente, que Kant identifica com substância (ou matéria). (KANT apud JAMMER, 2006, p.86, TRADUÇÃO NOSSA)

Em relação à segunda “regra”

“Declara que toda mudança ou sucessão de fenômenos ocorre de acordo com a lei de conexão entre causa e efeito. A própria percepção deixa a relação objetiva de fenômenos sucessivos indeterminados. Para a sua determinação, é necessário conceber a relação entre os dois estados de tal forma que deve ser determinado assim com a necessidade, qual dos dois deve ser tomado como primeiro, e que, segundo, e não inversamente. Kant explica a função de ordenação da causalidade pelos exemplos de observar um navio deslizando por um fluxo, onde "a percepção de seu lugar abaixo segue a percepção de seu lugar mais alto no curso do fluxo". [...]Kant reintegrou a conexão causal como condição necessária para determinar a ordem de eventos sucessivos.” (KANT apud JAMMER, 2006, p.86-87, TRADUÇÃO NOSSA)

Por fim, a terceira:

a Terceira Analogia ou o Princípio da Convivência, de acordo com a Lei de Reciprocidade ou Comunhão 65, como é chamado na segunda edição da Crítica, afirma que "todas as substâncias, na medida em que podem ser percebidas como Convivendo no espaço, estão sempre se afetando reciprocamente ", ou estão" em profunda interação recíproca ".(KANT apud JAMMER, 2006, p.87, TRADUÇÃO NOSSA)

Com isso, para a simultaneidade de Kant, essa ordem poder ser arbitrária. Assim, se dois eventos não precederem uns aos outros serão simultâneos entre si. Ou, por exemplo, Kant postula mais uma opção para simultaneidade. Nesta, um evento 1 é causa do 2, e o 2, por sua vez, é causa do 1. Assim, ele faz isso ao pensar na gravitação de Newton (JAMMER, 2006). Ademais, haverá uma relação causal que não pode ser alterada, ou seja, uma única causa e

efeito. Por fim, se ambos os eventos apresentarem as duas relações, serão simultâneos e seus tempos de acontecimentos serão idênticos ( $t_1=t_2$ ) (JAMMER, 2006).

Semelhantes a muitos pensadores vistos até agora, as ideias de Kant não foram unanimidade. Schopenhauer rejeitou seus conceitos de simultaneidade. Segundo ele, em relação à reciprocidade de Kant, "[...]o efeito seja novamente a causa da sua causa, de modo que o subsequente é simultâneo com o antecedente[...]" (SCHOPENHAUER APUD JAMMER, 2006, p. 90) chamando-a de um absurdo.

#### 4.1.3.1.3 Tempo físico relativístico

Em seu artigo de 1905 “*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*” Einstein (1905) atribui um novo significado, completamente diferente dos anteriores, para o Tempo. Na seção 1 – Cinemática, ele inicia seu texto com a discussão do que é simultaneidade em seu trabalho. Com isso, físico apresenta o tempo como:

<<Tempo>> de um acontecimento será então a indicação, simultânea desse acontecimento, que é fornecida por um relógio que satisfaz às seguintes condições: está colocado em repouso, no local do acontecimento; é síncrono de um outro relógio em repouso, mantendo-se esse sincronismo em todas as determinações de tempo[...] Por causa desta relação com o sistema em repouso chamaremos ao tempo assim definido <<tempo do sistema em repouso>> (EINSTEIN, 1905, p.4, TRADUÇÃO NOSSA)

Desta forma, o tempo passar ser, basicamente, a marcação do relógio que participa do sistema em repouso. Ou seja, agora, esse tempo que era absoluto para todos passa a ter sua medida intrinsecamente ligada a um referencial.

A partir das referências vistas, pode-se compreender que existem diversas abordagens e entendimento sobre o que é o *Tempo*. Com intuito de clarearmos nossas escolhas e investigar os instrumentos que constituem uma sequência didática, devemos explicitar como trabalharemos a epistemologia nessa ferramenta. Para a *Multidimensões*, iremos utilizar os conceitos primordiais dos conteúdos de relatividade, como velocidade, tempo, espaço e simultaneidade e seus diferentes significados em cada dimensão. Semelhante à *demandas de aprendizagem* (RUTHVEN ET AL., 2009; TIBERGHIE, 2005; LEACH e SCOTT, 2002), que deriva da *Dois Mundos*, identificamos divergências no tratamento dos conceitos. Entretanto, para nós, como já foi dito, por tratar-se de conteúdos de Física Moderna, entendemos que nossas diferenças estão em mais de duas “*dimensões*”. Ademais, entendemos que não é só a natureza da modelagem que se altera, mas, ao mesmo tempo, remetendo-nos aos conceitos de Vigotski, a relação do Signo e seus Significados. Ou seja, há uma variação dos significados de um mesmo signo para estudante que transmuta entre as dimensões do cotidiano, da Física Clássica e da Moderna.

O Signo por nós trabalhado nessa ferramenta e que sofre transformações inerentes às dimensões, “mundos”, em que se encontra é o *Tempo*. Como podemos ver, o mundo cotidiano partilha de uma visão embebida de aspectos religiosos do tempo, que permeia o dia-a-dia das pessoas. Ou seja, nós vivemos uma esfera na qual o tempo é absoluto e faz “a vida passar” e somente deus está fora dessa esfera. Nessa *dimensão*, o *Tempo* também é algo que é o mesmo para cada um, que passa entre eventos (ou seguimentos deles), a marcação de relógios e horários definidos. Essa noção é uma herança da época dos primeiros relógios públicos que eram usados para marcar os compromissos, a hora da missa ou outros acontecimentos. Por fim, não podemos descartar a ideia cíclica do *Tempo* oriunda dos calendários, anos e fenômenos da natureza.

Para *dimensão* da Física Clássica, entendemos que a ideia básica de Newton ainda é o que rege a compreensão do tema, ou seja, o *Tempo Absoluto*. Entretanto, vimos que a essa concepção não é aceita por fins religiosos, mas por ideias filosóficas e, a partir de Kant, por termos físicos. Assim, o tempo e simultaneidade absolutos se diferem das noções cotidianas.

Por fim, o “último tempo” está na *dimensão* relativística. Nela, este signo, devido principalmente aos trabalhos de Einstein, adquire um significado divergente das demais dimensões. Com isso, para a Relatividade, o tempo passa a ser marcações de eventos em relógios em referenciais definidos, ou seja, suas medições, agora, são intrinsecamente ligadas ao referencial que o relógio se encontra.

Com isso, podemos apresentar o quadro a seguir:

<b>Grandes Teóricos</b>	<b>Estruturas intermediárias</b>	<b>Aspectos das Grandes Teorias na Ferramenta de Design</b>	<b>Ferramenta de Design</b>
Vigotski; Popper (1985) e Kuhn (1987)	Situações Complexas Polissignificativas	Signo e Significado (Vigotski); Natureza dos temas triviais (Martins (1998); Jammer (2006); Einstein (1905)	<i>Multidimensões</i>

Figura 19 - Teorias epistemológicas e cognitivas da ferramenta de design e a relação com o signo "tempo"

Ferramenta de Design - <i>Multidimensões</i>			
Relações com os Reflexos	Componentes	Relações com o conteúdo	Objetivo no design
Os significados de um mesmo signo são alterados em naturezas epistemológicas distintas.	<pre> graph TD     Signo[Signo] --&gt; D1[N dimensões]     Signo --&gt; D2[N dimensões]     Signo --&gt; D3[N dimensões]     D1 --&gt; S1[Significados]     D2 --&gt; S2[Significados]     D3 --&gt; S3[Significados] </pre>	<p><i>Signo- Tempo</i></p> <p><i>Dimensões – 3</i> Dimensão Cotidiana; Dimensão Física Clássica; Dimensão Física Moderna.</p> <p>Significados Cotidiano; Físico Clássico; Físico Moderno.</p>	Criar atividades que possam reunir e conflitar os significados de cada dimensão do mesmo Signo. Além disso, proporcionar ação que evidencie como esses significados contemplam ou não o conteúdo a ser ensinado.

Figura 20 - Estrutura da ferramenta *Multidimensões* e signo "tempo"

### 3.2.3.2 Crise Complexa

Nossa TLS também se utilizou de outra ferramenta feita a partir de nossa estrutura intermediária “Situações Complexas Polissignificativas”, a Crise Complexa. Uma das vantagens de utilizar as ferramentas de Design como estruturante de sequências didáticas é que elas são oriundas de teorias cognitivas e epistemológicas que devem ser escolhidas da maneira mais adequada para o tratamento do conteúdo a ser ensinado. Desta forma, o professor não fica preso a um tipo de abordagem ou metodologia, utilizando-as sem saber exatamente quais os princípios que as fundamentam. Ademais, as ferramentas devem fundir nuances e aspectos das grandes teorias que as sustentam, por exemplo, ao utilizarmos a Crise Complexa, trabalhamos aspectos das naturezas e filosofia das ciências. É claro, que em um primeiro momento, o leitor possa pensar que se trata basicamente da utilização da filosofia das ciências no ensino, como já acontece em outras pesquisas. Entretanto, nós atribuímos os fatores principais dos trabalhos de Popper (1985) e Kuhn (1987) a aspectos da teoria de Vigotski para aprendizagem.

Para aqueles que participam das discussões acerca do entendimento das metodologias científicas contemporâneas e seus influenciadores é de conhecimento geral que Popper era crítico do verificacionismo. Como aponta Francelin (2004) “[...]Qualquer hipótese, para ser científica, tinha de ser considerada “verificável” (Freire-Maia, 1998, p.83). Não concordando com essa concepção, Popper propõe o que chama de “falseabilidade” ou “falibilismo”. [...]”. Portanto, para Popper (1985), a falseabilidade das teorias é o que a torna científica e o possibilita



sua evolução. Tal fato faz com que tenhamos uma noção mais ampla de eventos novos e fenômenos que rompem com o método indutivista. Por isso, segundo Francelin (2004):

[...] Para Popper, a ciência se desenvolve a partir de revoluções constantes, renovando-se permanentemente. O critério de falseabilidade está associado à ideia de movimentação e rupturas de paradigmas científicos, ao contrário do verificacionismo, que tem como princípio básico a ideia de verdade, portanto algo que se estabiliza em determinado momento; o falseacionismo ou falibilismo não pressupõe uma verdade primeira, mas um enunciado seguido de uma contraprova ou de sua “falseação”. [...] (FRANCELIN, p. 31, 2004)

Outra grande teoria epistemológica acerca da natureza das ciências utilizada é a de Thomas Kuhn. Kuhn (1987), resumidamente, credits que o desenvolvimento das teorias científicas se dá por meio de revoluções. Elas causam mudanças na compreensão de paradigmas vigentes. Os paradigmas são [...]um conjunto de valores, teorias e métodos que irão influenciar e servir de “modelo” para uma ou várias comunidades científicas. [...] (FRANCELIN, p. 32, 1992). Desta forma, as revoluções devem renovar ou remodelar um paradigma, esse por sua vez, é abandonado dando espaço a um novo. Para isso, Kuhn (1987) conclui que mudança ocorre por meio de *crises* que irão gerar rupturas nos paradigmas vigentes. Porém, isso não é de imediato, há período de aceitabilidade, chamado de período de transição. Essa renovação é deveras importante, por exemplo como Francelin (1992) comenta:

[...]Nesse período há muito o que ser feito, pois a ansiedade pelo novo é muito mais forte do que a tentativa de revigorar o velho paradigma, e este acaba por ser o argumento que lhe é mais desfavorável. Consequentemente, as grandes revoluções científicas passaram por períodos de transição variados, e, dessa maneira, seguiram seus respectivos períodos de vigência enquanto paradigmas. Pode-se citar como alguns dos representantes dessas revoluções científicas: Nicolau Copérnico, Galileu Galilei, Isaac Newton, Charles Darwin e Albert Einstein. [...] [...] E é destes que parte a iniciativa para as revoluções científicas. Em vez do enfoque no evento da descoberta em si, propõe-se a análise de um contexto não como mito (Popper, 1999), mas como um importante agregado à construção científica. Portanto, ter-se-ia um panorama científico que se desenvolve a partir de revoluções e de “espíritos” revolucionários, podendo ocorrer de tempos em tempos (Kuhn, 2001), a todo momento (Popper, 1999), ou das duas maneiras concomitantemente. (FRANCELIN, p. 32, 2004)

Com isso, utilizamos esses aspectos em nossa ferramenta de design para que possamos criar atividades que gerem crises nos paradigmas vigentes do cotidiano ou da física clássica. Sendo assim, buscamos confrontar por meio de fenômenos ou questões os paradigmas que devem ser renovados.

Ainda que possa parecer desconexo o uso de Popper e Kuhn como suportes para criação de uma ferramenta de design de uma sequência de ensino, para nós, eles contemplam um elemento essencial do processo de ensino e aprendizagem oriundo da teoria de Vigotski: a complexidade. Vigotski atribui a complexidade como ponto de partida para cognição, pois assim iremos assimilando outros pontos até atingirmos completamente toda a situação de aprendizagem. Portanto, dentro do conteúdo de relatividade especial, as quebras de paradigmas

e noções indutivistas podem tornar-se oportunidades de aprender pelo complexo. Desta forma, em nossa ferramenta de design, o aluno necessariamente será exposto a uma situação em que os pensamentos indutivistas sejam confrontados, criando, assim, as condições similares às crises apontadas na epistemologia de Kuhn. Por conseguinte, após a crise instaurada, inicia-se o processo de aceitação. Nele, é imprescindível que o aluno rompa com suas reflexões indutivistas e passe a compreender e utilizar os conceitos que serão introduzidos da física moderna ou conceitos já trabalhados que são requeridos para o desenvolvimento da atividade. Obviamente que sabemos que tal estratégia não é garantia de aprendizagem, mas acreditamos que ela possa ser a porta de entrada para a compreensão desses novos conceitos.

Por exemplo, quando aluno é apresentado aos postulados da relatividade especial, é esperado, no ensino tradicional, que apenas a leitura e a memorização dos enunciados sejam o suficiente para o estudante compreender os reflexos na natureza de tais postulados, como a invariância da velocidade da luz. Todavia, com o uso de nossa ferramenta, o aluno é imerso em situações em que ele traga à tona noções indutivistas sobre a natureza e, assim, seja guiado à uma crise, visto que tal forma de pensar não irá conduzir à resolução do problema. Essa crise pode surgir no exercício mental de pensarmos nos efeitos da adição vetorial da velocidade para uma bola e para a luz dentro da relatividade. Assim, nesse momento, há um rompimento do paradigma clássico, gerando uma crise, no qual a noção indutivista falha nesse processo. Assim, temos como ponto de partida todos os requisitos para essa atividade ser suficientemente complexa para iniciarmos o processo de ensino-aprendizagem. Além disso, o uso das principais crises que levaram Albert Einstein a desenvolver a teoria da relatividade especial, como o problema da origem do campo induzido, podem ser outros exemplos que permitem que as discussões epistemológicas nas teorias de Popper, Kuhn e os aportes cognitivos da teoria de Vigotski possam ser utilizadas na criação de uma SD.

<b>Grandes Teóricos</b>	<b>Estruturas intermediárias</b>	<b>Aspectos das Grandes Teorias na Ferramenta de Design</b>	<b>Ferramenta de Design</b>
Vigotski; Popper (1985) e Kuhn (1987)	Situações Complexas Polissignificativas	Aprendizagem pelo complexo (Vigotski); Desenvolvimento do método científico de Popper (1985) e Kuhn (1987)	Crises complexas

Figura 21 - Teorias epistemologias e cognitivas da ferramenta de design Crises Complexas

Ferramenta de Design -Crises complexas			
Relações com os aspectos	Componentes	Relações com o conteúdo	Objetivo no design
O processo de desenvolvimento e naturezas das ciências permite situações complexas para o ensino.	Situação que gera crise em um paradigma + Evento ou explicação que a noção indutivista falhe + Usar essa situação como partida para aprendizagem ou atividade	Conteúdo de Relatividade quebra o paradigma da física clássica e da noção de intuitiva do dia-a-dia. Os paradoxos, crises que levaram a concepção da Teoria da Relatividade ou implicações da teoria podem ser exemplos utilizáveis.	Criar uma atividade ou sequência que parte de exemplos ou fenômenos complexos. Eventos em que o aluno seja desafiado a trocar de paradigma em relação a ciências. Além disso, que possam ser efeitos pouco intuitivos para que os processos de aceitação de perpetuação de um novo paradigma sejam concretos.

Figura 22 - Estruturação e funcionalidade da ferramenta de design dentro da atividade

### 3.3 ESPAÇO DE DESIGN

O termo que intitula esse texto é oriundo da culinária francesa. O “*Mise en place*” pode ser traduzido diretamente como configuração ou implementação, porém na gastronomia, refere-se ao ato de preparar todos os ingredientes, receitas, ferramentas e utensílios para cozinhar<sup>11</sup>. Aparentemente, esse termo pode parecer desconectado do escopo desse trabalho. Como já foi dito, nessa pesquisa queremos diminuir o caráter artesanal das sequências didáticas produzidas por e para professores, entretanto, não renunciamos às características pessoais e vieses de cada profissional. Mas, ao mesmo tempo, possam ser identificados pontos que remetem exatamente ao tipo de visão do pesquisador que criou a sequência. Por exemplo, é possível que o docente seja mais ligado a história e filosofia das ciências (HFC). Embora, elabore uma S.D. guiada por teorias, metodologias, referenciais e ferramentas estabelecidas, podemos encontrar nuances de HFC permeando toda a S.D. A sequência final, se feita de maneira coesa, não terá o caráter artesanal, altamente personalizada e cuja adequação e eficácia esteja restrita apenas para quem a criou.

Assim, estamos conscientes de toda a complexidade que precisa ser considerada na produção de uma sequência didática. Ao sermos guiados, agora, por pesquisas na área de Ensino de Ciências entendemos que é preciso pensar no esmero ou riqueza de detalhes (Scotch et al., 2010), na diferença de escalas e tempo de Tiberghien et al. (2005), nos momentos do *resumo de design* (RUTHVEN et al., 2009; Leach & Scott, 2002), nos nichos de aplicação e desenvolvimento (Tiberghien 2005; RUTHVEN et al., 2009; LEACH et al., 2010), na análise

<sup>11</sup> <https://cozinhatecnica.com/2014/12/o-que-e-mise-en-place/> <acesso: 12 de Janeiro de 2018>

e comparação das ferramentas (Savinainen et al., 2005; VIIRI & SAVINAINEM, 2008), na estruturação das etapas, sequências, momentos, grandes teorias e estrutura intermediárias (Tiberghien 2005; Lijnse 2007; RUTHVEN et al., 2009; LEACH et al., 2010), no núcleo rígido e conteúdo científico (LIJNSE, 2001).

A partir do estudo dos referenciais acima, compreende-se que tais considerações não devem estar presentes somente durante o processo de desenho, mas em todo o momento. Desta forma, da mesma maneira que a gastronomia é formada de técnicas e regras para que os produtos possam ter bastante qualidade, o desenvolvimento de sequência didática precisa seguir esse mesmo caminho. Daí surgiu a imagem do *mise en place*. Assim como os ingredientes, talheres, instrumentos, medidas etc. que um cozinheiro irá utilizar, o designer de SD também devem utilizar-se desta mesma organização inicial para realizar seu trabalho. Ou seja, o nicho, conteúdo, regimentos educacionais, contextos da sala de aula, tempo de aplicação, suas teorias e ferramentas de design devem ser pré-estabelecidas antes da criação das atividades e sequência. Ao fazer isso, torna-se um cozinheiro mais completo ainda que possua uma vertente específica, ou melhor, um professor/pesquisador mais completo ainda que tenha um viés, uma predileção ou domínio maior para determinadas metodologias e referências teóricas.

As ferramentas de design, as grandes teorias, estruturas intermediárias, conteúdos e nichos devem também já estar bem estabelecidas antes do desenvolvimento do processo. Desta maneira, assim como na cozinha, a técnica do *mise en place* é imprescindível para a criação de pratos com alta qualidade, organizando todo o processo, ajudando a enxergar os passos a serem seguidos, evitando acidentes e queimaduras, garantindo a excelência do que está sendo feito. E tudo isso sem tirar a criatividade do cozinheiro. Pelo contrário, é o reconhecimento de todo o mecanismo envolvido na arte de cozinhar que possibilita a liberdade de criação.

Aliados a isso, o programa japonês 5S utilizado em setores de qualidade, logísticas e laboratórios em indústrias e empresas possui sua origem voltada para organização das casas japonesas por toda a família<sup>12</sup>. Segundo Rebello (2005), o programa 5S:

“Foi desenvolvido com o objetivo de transformar as atitudes das pessoas e os ambientes das organizações, ocasionando melhor qualidade de vida dos funcionários, redução de custos e desperdícios e aumento da produtividade das organizações. Este programa tem como objetivo principal promover a alteração do comportamento das pessoas, proporcionando total reorganização da empresa através da eliminação de materiais obsoletos, identificação dos materiais, execução constante de limpeza no local de trabalho, construção de um ambiente que proporcione saúde física e mental e manutenção da ordem implantada.” (REBELLO, 2005, p.168-169)

---

<sup>12</sup> [http://www.esalq.usp.br/qualidade/cinco\\_s/pag1\\_5s.html](http://www.esalq.usp.br/qualidade/cinco_s/pag1_5s.html) <acesso: 12 de Janeiro de 2018>

Seu nome é baseado nas cinco palavras japonesas que correspondem à essência do pensamento do programa: *Seiri* (Organização), *Seiton* (Ordenação), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Sistematização) e *Shitsuke* (Autodisciplina) (REBELLO, 2005). Assim, o programa busca criar rotinas sustentáveis de trabalhos que sejam mais limpas e organizadas. Desta forma, como destacamos anteriormente, o processo de designer necessita que vários aspectos estejam bastante determinados no início e durante o desenho da sequência. Com isso, utilizando os ideais e essências do 5S e *mise en place*, buscamos maneiras de evitar um dos problemas destacados em nosso trabalho: a elaboração de uma sequência didática galgada principalmente na intuição e experiência do desenhista.

### 3.3.1 Workbenches educacionais

Utilizando os princípios de preparo do *mise en place* e a rotina cotidiana clara, limpa e organizada que 5S busca, idealizamos assim “*Workbenches Educacionais*”. O termo foi pensado visando às bancadas de marcenarias. Assim, a organização se dá pelas ferramentas desenvolvidas e o preparo do nicho de aplicação, normas, regulamentação, currículo, conteúdos etc.

O uso das Workbenches mostra-se bastante útil para reduzirmos ao máximo possível a carga intuitiva na criação de uma S.D, deixando clara a necessidade de usarmos sempre os aportes metodológicos das *grandes teorias, estruturas intermediárias e ferramentas de design*. Assim, apresentamos dois modelos de como pode-se estruturar uma Workbench. O primeiro, mais geral, permite que o designer compreenda a importância e relação de cada espaço com a sequência didática e suas atividades.

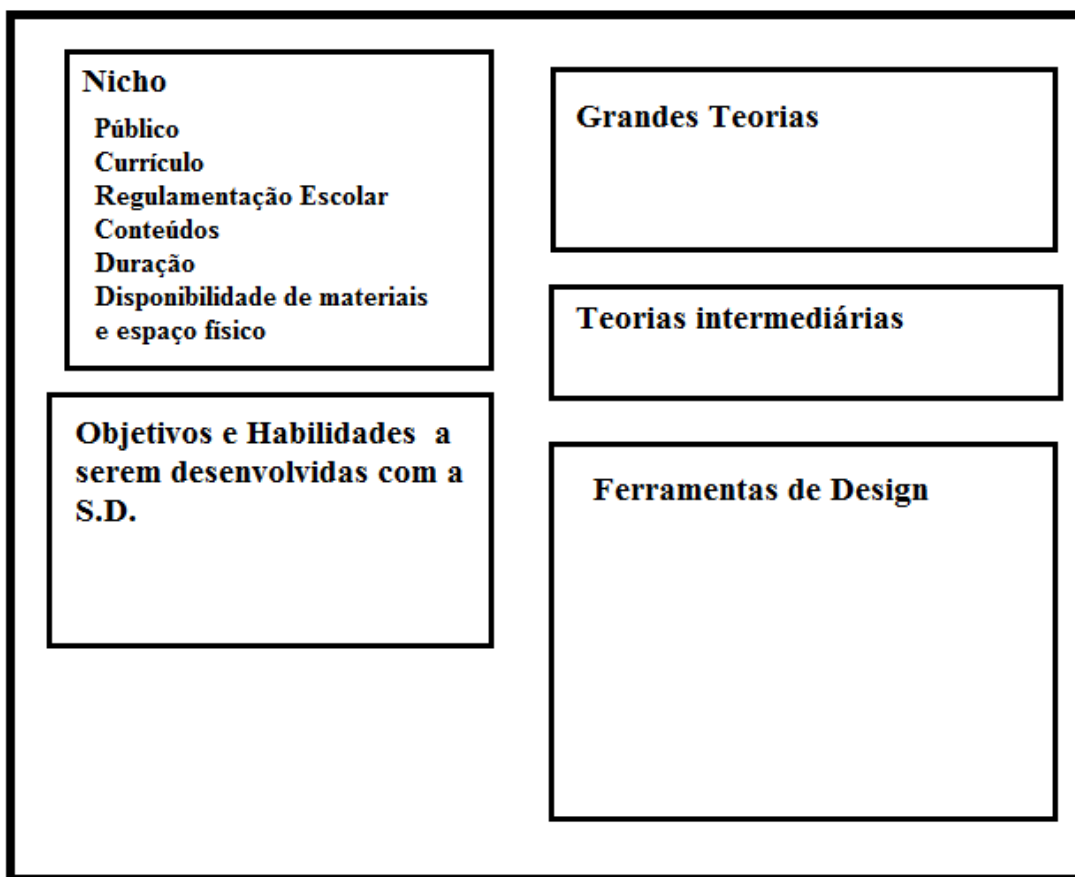


Figura 23 – Estrutura geral de uma Workbench Educacional. Autoria Própria.

O segundo é voltado para estruturação dos momentos e referências. Ele, explicita de que maneira os momentos e etapas devem se conectar. O segundo exemplo de workbench não apresenta de forma clara a ideia de que essas estruturas devem estar definidas previamente.

### 3.4 O PROFESSOR PARCEIRO

O professor parceiro que contribuiu para a realização dessa pesquisa fez esse ato de maneira voluntária. Ele cedeu a sua unidade curricular eletiva para implementarmos nossas SDs, além de lecionar o curso. O professor possui um grande domínio do tema, sendo sua área de pesquisa a supersimetria de campos. Sua formação é totalmente voltada para a física teórica. Entretanto, ele possui apreço pela filosofia e natureza das ciências, apresentando um grande conhecimento acerca da história do surgimento e desenvolvimento das teorias da relatividade e da vida de Albert Einstein. Ele sempre se mostrou muito interessado, cuidadoso e preocupado com a formação dos futuros docentes em todos os cursos que leciona na UNIFESP, sendo um professor querido e respeitado pelos alunos justamente pela qualidade de suas aulas.

Em um comum acordo com o professor parceiro, as atividades e S.D. criadas procurariam ser mais simbióticas possíveis com a ementa (pensada por ele e por nós, mas de

acordo com o projeto pedagógico da instituição) e realidade do cotidiano da universidade. Além disso, fornecemos a ele alguns textos para estudo de nossa metodologia.

### 3.5 CALENDÁRIO

Desta forma, ao criarmos o curso, tivemos em mente aspectos pontuais do nosso nicho que vão desde material didático que deveria estar a mão do professor até o calendário letivo (algo que nos prejudicou, visto que tivemos 5 aulas a menos por conta de feriados e atividades especiais na faculdade).

Utilizamos-nos dos conceitos da Teaching-Learning Sequences e o uso de ferramentas de design para criarmos atividades pensando em atingir o melhor *nível de detalhamento* possível (LEACH et al., 2010). Fizemos isso utilizando nossas ferramentas *Crise complexa* e *Multidimensões*. Além disso, o curso também foi montado por momentos e processos de discussão ou a reflexão acerca de questões que conectavam as atividades ou aprofundavam os temas. Assim, proporcionando espaço e base para que o professor parceiro pudesse também trabalhar aspectos e objetivos pessoais do conteúdo. Portanto, apresentamos o calendário e programação.

Semanas	Aula	Duração	Aula/Atividade	Objetivos e Habilidades
1	1º	3horas	O problema da indução no eletromagnetismo: leis e experimentação.	<i>Relação com a NOS indutivismo, experimentação, modelos, linguagens e matemática.</i>
2	2º	3horas	Eventos, Referencial e discrição.	<i>Entender a necessidade de referenciais e eventos e os postulados de Einstein.</i>
3	SCCUD			
4	3º	3horas	Presente, futuro e passado.	<i>Medidas dos relógios; o tempo; relógio de luz.</i>
5	Feriado			
6	4º	3horas	Transformações de Lorentz e observações do espaço	<i>Medidas espaciais, coordenadas de eventos e transformações das coordenadas em dois referenciais.</i>

7	5°	3horas	Compreensão do Espaço-Tempo de Galileu e Aristóteles	<i>Atividade do assassino, compreensão de eventos e contextos da concepção de espaço-tempo para Aristóteles e Galileu.</i>
8	<b>Prova 1</b>			
9	6°	3horas	Técnicas de relatividade.	<i>Estimular a parte técnica da relatividade e trabalhar a modelagem.</i>
10	<b>Feriado</b>			
11	7°	3horas	Resolução da Prova/Conteúdos Professor parceiro	<i>Resolução da Prova/Notação Martins e demonstração transformações de comprimentos e períodos.</i>
12	8°	3horas	Velocidade	<i>Velocidade relativa x velocidade relativística.</i>
13	<b>Feriado</b>			
14	-	3horas	Dúvidas e Feedback do Curso	<i>Dúvidas e Feedback do Curso</i>
15	9°	3horas	Geometria de Minkowski e Concepção do Espaço-Tempo de Einstein.	<i>Entender as relações de métrica e concepção de Einstein e suas contraposições em relação a Galileu e Aristóteles</i>
16	10°	3horas	Energia, Momento e conservações,	<i>Implicações da Relatividade e as conservações da física.</i>

Figura 24 - Calendário de desenvolvimento do curso

Semanas	Data	Aula	Conteúdo
1	11/08/2017	1ª	Problema da indução e conceitos de Natureza das ciências
2	18/08/2017	2ª	Evento e Referencial
3	25/08/2017	SCCUD	SCCUD
4	01/09/2017	3ª	Tempo e medidas do Relógio



<b>5</b>	08/09/2017	Feriado	Feriado
<b>6</b>	15/09/2017	4º	Espaço, equações de Lorentz e coordenadas.
<b>7</b>	22/09/2017	5ª	Espaço-Tempo de Galileu e Aristóteles
<b>8</b>	29/09/2017	<b>P1</b>	<b>PROVA 1</b>
<b>9</b>	06/10/2017	6ª	Técnicas de exercícios e notações
<b>10</b>	13/10/2017	Feriado	Feriado
<b>11</b>	20/10/2017	7ª	Demonstração das transformações de comprimento e período
<b>12</b>	27/10/2017	8ª	Velocidade Relativística
<b>13</b>	03/11/2017	Feriado	Feriado
<b>14</b>	10/11/2017	-	Dúvidas e Feedback do Curso
<b>15</b>	17/11/2017	9ª	Geometria de Minkowski
<b>16</b>	24/11/2017	10ª	Energia, momento e conservações.
<b>17</b>	01/12/2017	<b>P2</b>	<b>PROVA 1</b>
<b>18</b>	08/12/2017	Feriado	Feriado

Figura 25 - Conteúdo programático específico de cada aula do curso

### 3.6 ANÁLISE DA APLICAÇÃO E ORIGENS DOS DADOS.

#### 3.6.1 Natureza da Pesquisa

O processo de criação das ferramentas é um dos pilares deste trabalho, porém é importante analisarmos as sequências de aula. Com isso, buscamos identificar pontos estratégicos capazes de demonstrarem a importância dessas ferramentas nas atividades. Por conseguinte, a metodologia de análise deve ser pensada de modo que os resultados sejam capazes de, de fato, refletir o que foi realizado na pesquisa, com robustez e coesão.

De forma geral, as metodologias e análises em nossa área de pesquisa acabam por se localizar, infelizmente, na maioria das vezes, em posições dicotômicas e conflitantes: pesquisas Qualitativa X Quantitativa. Desta forma, por compreender que trata-se, ao final, de uma falsa dicotomia, baseada em profundas incompreensões e preconceitos acerca das análises em pesquisas mais próximas das Ciências Sociais (SNOW, 1995) optamos por escapar dessa realidade vigente. Pois, sabemos que a natureza da pesquisa em nossa área está longe de ser facilmente delimitada e, mais que isso, compreendemos que dados qualitativos e quantitativos

se complementam e trazem mais confiança para o entendimento daquilo que se investiga. Desta forma, no cerne do nosso trabalho, optamos em sermos mais “metodologicamente plural”, optando pelo chamado “método misto” (CRESWELL ET ALL, 2003; JOHNSON, ONWUEGBUZIE, 2004). Todavia, não podemos tratar a escolha da metodologia de pesquisa como um ato arbitrário ou simplório. Devemos entender nossa pergunta de pesquisa (quais são os elementos estruturantes de sequências didáticas) e, principalmente, como ela se relaciona com o objeto a ser pesquisado. Sendo assim, em um primeiro momento, devemos identificar o caráter na nossa pesquisa e de nossos dados.

O processo de identificar as melhores metodologias demanda uma série de reflexões. Sendo assim, selecionamos metodologias qualitativas e quantitativas para analisarmos nossa sequência e ferramentas. Entretanto, ao longo da aplicação, abandonamos algumas dessas metodologias, em especial, as quantitativas. Com isso, ao fim da sequência aplicada, tivemos que, novamente, refletir acerca da natureza de nosso trabalho. Assim, embora tivéssemos um objetivo de usar uma metodologia mista, encaramos que nosso estudo se aproxima mais de uma pesquisa qualitativa.

Com a natureza da pesquisa bem determinada, devemos refletir acerca das teorias que podemos utilizar. Desta forma, há na literatura diversas maneiras de análise de dados oriundos do ambiente escolar. Uma das mais consagradas são propostas no trabalho de Lüdke e André (1986). Os autores trabalham diversos pontos que permeiam pesquisas qualitativas e o ambiente escolar. É interessante como as metodologias propostas por Lüdke e André (1986) podem trabalhar diversos aspectos da complexidade da sala de aula.

Ainda que não em totalidade, aspectos dos participantes são e foram bastante utilizados nos dados retirados da aplicação da sequência didática. Isso se faz importante pois, por meio desse tipo de perspectiva, temos noção de olhares imperceptíveis para os observadores externos (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Essa preocupação é uma das cinco características da pesquisa qualitativa (no caso a quarta) apontadas por Bogdan e Biklen (1982) apud Lüdke e André (1986). As cinco características são, resumidamente, colocadas como: Contato do pesquisador com o ambiente natural de estudo; os dados obtidos são, em sua maioria, descrições; preocupação com o processo é maior do que com o produto; investigar a perspectiva dos participantes; não há uma preocupação em evidenciar uma questão ou hipótese inicial (LÜDKE e ANDRÉ, 1986).

As pesquisas qualitativas são bastantes utilizadas nos trabalhos de ensino. As cinco características acima mencionadas podem ser encontradas em inúmeras pesquisas existente na literatura. Entretanto, para nós, o quinto aspecto não é levado em consideração na validação

dos dados. Isso ocorre pois, temos diversas premissas e questões *a priori*. Por exemplo, ao analisarmos os dados buscávamos evidenciar o papel e impacto das ferramentas no desenvolver das atividades e sequência.

Ainda que haja uma discordância em um ponto da caracterização de Bogdan e Biklen (1982), há outros quatro pontos que levamos em consideração e acreditamos que possam ser base metodológica para nossa análise. Dentre esses pontos, por exemplo, Karam (2012) a partir de Bogdan e Biklen (1982) apud Lüdke e André (1986) destaca dois que são de suma importância para essa pesquisa:

Utilizar uma diversidade de dados descritos como relatos de entrevistas, citações, condições do ambiente, fotografias, entre outros, com o objetivo de caracterizar a situação da maneira mais completa possível; centrar o foco mais no processo do que no produto; (KARAM, 2012, p.68)

É importante destacar que Lüdke e André (1986) não limitam seu trabalho somente a delinear o que é uma pesquisa qualitativa e suas características. Eles apresentam outros tipos de pesquisas qualitativas, como, etnográfica ou estudo de campo. Para nós, a metodologia que mais se adequava ao que foi realizado nessa pesquisa é o estudo de caso. Nele, basicamente, o pesquisador, segundo Lüdke e André (1986), estuda somente um caso delimitando-o e aceitando suas características únicas. Sendo assim [...] “o caso é sempre bem delimitado, devendo ter seus contornos claramente definidos no desenvolver do estudo” [...]. (LÜDKE e ANDRÉ, 1986, p.17). Segundo Teixeira (2015) sobre o trabalho de Lüdke e André (1986):

Os estudos de caso atribuem grande ênfase ao contexto em que se insere o objeto de estudo, buscando tratar a realidade de forma completa e profunda utilizando técnicas variadas de coleta de dados. Além disso, esses estudos consideram os diferentes pontos de vista dos sujeitos envolvidos na pesquisa e procuram em seus relatórios utilizar linguagem acessível e objetiva. (TEIXEIRA, 2015, p.14)

É claro, mesmo em meio a uma natureza de pesquisa, o estudo de caso apresenta suas características que o diferenciam dos demais. Em primeiro lugar, é importante frisar que o estudo de caso não é exclusivo das pesquisas qualitativas, como muitos autores apontam (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Uma característica que mais nos atrai é que, segundo Lüdke e André (1986), o estudo de caso busca uma investigação de uma descoberta, aspectos novos ou novos elementos. Os autores apontam sete aspectos do estudo de caso que vão desde a leitura e entendimento do contexto educacional até a preocupação com exposição da linguagem utilizada. Em meio a isso, entendemos que um estudo de caso deve compreender os contextos complexos da pesquisa educacional. Mais do que isso, tem de permitir, por meio de várias opções de registro e análise, tradução de vários pontos de vistas, levando em conta sua construção social, presentes em qualquer situação escolar. Entretanto, há algo no conceito de estudo de caso que precisamos evitar: a generalização indutivista ou naturalista. Não, podemos aceitar resultados de pesquisa em ensino que sejam falaciosos ou que faça, generalizações muito

além do recorte realizado e, assim, dos resultados obtidos. Assim, acreditamos que, mesmo em um estudo de caso, é possível a identificação de algo novo, porém oriundo de uma intervenção premeditada, como as interações entre as ferramentas de design e as atividades da sequência didática.

O estudo de caso da parte da fase exploratória, em que as perguntas iniciais, ainda que fase incipiente, devem ser feitas a partir de pressupostos teóricos (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Em nosso caso, tais perguntas estão calcadas na efetividade das ferramentas de design e o modo como estas podem estruturar as atividades. Ademais, é importante salientar que em nossa pesquisa, devido à montagem do curso junto aos objetivos do professor parceiro, essas análises foram feitas em trechos e aulas específicas. Ao fazermos isso, estamos *delimitando o estudo* (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Por fim, o uso desse tipo de metodologia é importante, pois:

[...]Concluindo, podemos dizer que o estudo de caso "qualitativo" ou naturalístico encerra um grande potencial para conhecer e compreender melhor os problemas da escola. Ao retratar o cotidiano escolar em toda a sua riqueza, esse tipo de pesquisa oferece elementos preciosos para uma melhor compreensão do papel da escola e suas relações com outras instituições da sociedade. [...] (LÜDKE e ANDRÉ, 1986)

### 3.6.2 Nosso estudo de caso e análise dos dados.

Como já foi relatado, utilizamos o estudo de caso de Lüdke e André (1986) e seguindo as características apontadas por Bogdan e Biklen (1982) para a análise de uma pesquisa qualitativa, com exceção do quinto aspecto, pois temos uma hipótese inicial.

Partimos do pressuposto que as ferramentas de design, além de estruturarem as TLS, tem influências diretas nas atividades e nas situações de ensino-aprendizagem. Com isso, nossa fase exploratória não parte de um só pressuposto teórico, mas uma das premissas da pesquisa é identificar os estruturantes de sequências didáticas e, por conseguinte, suas influências.

Delimitamos os dados de nosso estudo de caso em atividades que ocorreram nas aulas 1, 2, 3, 4 e 7, pois os aspectos revelados nesse recorte buscam também evidenciar o processo simbiótico entre as ferramentas de design e as características intrínsecas ao professor parceiro.

Com esse contexto, trabalhamos ao máximo os aspectos das várias visões dos agentes que compuseram e compõe as complexas situações de pesquisa em ensino, pesquisador, aluno e professor. Nossos dados são oriundos das análises de filmagens da aula, fala dos alunos e professor participantes e tem como objetivo nos ajudar a entender melhor o que ocorreu durante os processos de ensino-aprendizagem comuns no ambiente de escolar. Assim, optamos por transcrevermos as falas dos alunos, professor ou discussões em grupos capazes de evidenciar a interação dos participantes da pesquisa com as ferramentas desenvolvidas por nós na criação das atividades e da SD como um todo.

#### 4. RESULTADOS.

Nesse capítulo iremos apresentar duas perspectivas de resultados, cada uma será trabalhada em seções distintas. A primeira, está voltada para os produtos criados a partir de nossas ferramentas de design, ou seja, as atividades pertencentes ao curso. Assim, ao pensarmos nos estruturantes de sequências de ensino-aprendizagem, entendemos que os dados coletados não são o único material que poderá levar a conclusões da pesquisa. Com isso, após todo processo de criação, concluímos que as atividades desenhadas possuem um grande protagonismo nos resultados dessa pesquisa. Desta forma, apresentamos o processo de criação e utilização das ferramentas didáticas para criarmos as atividades. Tal fato, no âmbito de produzirmos uma S.D. menos personificadas, é um resultado de pesquisa que deve ser compartilhado ao demais docentes e pesquisadores.

Ao mesmo tempo, a segunda seção trabalhamos, a partir da análise dos dados coletados, como tais estruturantes influenciam evidentemente na atividade. Ademais, como esse processo de criação pode levar a consequências esperadas (pelo uso das ferramentas) e, assim, atingir objetivos pré-estabelecidos. (VIGOTSKI, 1996)

#### 4.1 FERRAMENTAS E AS ATIVIDADES

##### 4.1.1 Aula 1

As atividades criadas foram destinadas para diversas aulas e momentos da sequência didática. Com isso, na primeira aula, destacamos duas em especial: *Paradoxo dos gêmeos e Plantão Médico*. Tais atividades foram criadas a partir da ferramenta de design *Crise complexa*. Desta forma, a aula tinha como objetivo e conteúdo programático a introdução ao curso, apresentação e discussão acerca dos problemas iniciais que a física enfrentava na época de 1900 e, principalmente, uma discussão sobre a natureza das ciências

AULA 1	
<b><u>Objetivos e Habilidades</u></b>	<i>Relação com a <u>NOS</u>, <u>indutivismo</u>, <u>experimentação</u>, <u>modelos</u>, <u>linguagens</u> e <u>matemática</u>.</i>
<b><u>Ferramentas utilizadas</u></b>	<i>Crise complexa</i>
<b><u>Atividades ou Momentos</u></b>	<i>Paradoxo dos Gêmeos e Plantão Médico</i>

Figura 26 - Resumo de Aula (aula1)

##### 4.1.1.1 Atividade: Paradoxo dos Gêmeos

Em umas das primeiras atividades, utilizamos o paradoxo mais famoso da relatividade. Porém, devemos deixar claro que, o modelo e “roupagem” do paradoxo ficam a critério do professor. No nosso caso usamos a relação entre uma criança gestada no espaço e a paternidade

dela. Ou seja, se uma astronauta é fecundada por seu marido, um dia antes de sua viagem espacial, parte e volta com uma criança de 1 ano de idade, é possível o homem (no caso os alunos) ser o pai, se na Terra passaram 3 anos? Assim, para nós, seu uso neste instante se dá devido à complexidade dos conceitos envolvidos, algo que é fundamental segundo nosso referencial (Vigotski) para a aprendizagem. Além disso, o apelo emocional e a relação paradoxal entre o desgaste biológico causado são *pontos-chaves* para assuntos referentes à essa aula. Julgamos que o professor deve apresentar o fenômeno, histórias (enunciado) e relação paradoxal, todavia, a resolução numérica e conceitual, neste momento, não se faz necessária. Evidencia-se aqui, nossa escolha em começar com uma atividade que já se inicia apresentando um dos conteúdos que serão abordados no curso. E essa escolha, longe de arbitrária, decorre diretamente de nossa *Grande Teoria cognitiva*, visto que para Vigotski (1996) a aprendizagem deve ser iniciada a partir da abstração, e se dá a partir de situações complexas de ensino (VIGOTSKI, 1996)

Desta maneira, o uso desse paradoxo, além de ser uma das implicações mais conhecidas da relatividade, satisfaz os principais aspectos de nossa ferramenta *Crise complexa*, justamente porque traz a oportunidade de iniciar uma discussão ou permite a criação de momentos de aprendizagem a partir de uma situação bastante abstrata e complexa. Portanto, o uso do paradoxo (ou de situação que possa causar o mesmo efeito) se dá pela complexidade do fenômeno, que os paradigmas do cotidiano e da física clássica não fornecem as explicações mais adequadas desse fenômeno e permite a iniciação de uma crise nesses paradigmas vigentes.

Sendo assim, é possível vislumbrar como as ferramentas estruturam atividades ou o curso. Pois, ao utilizarmos a *crises complexas* nesse momento, fazemos isso com o intuito que as discussões surgidas nesse momento reverberem nas demais aulas. E isso, mais uma vez, decorre das *Grandes Teorias* que a fundamenta. Assim, ao invés de buscar habilidades ou objetivos pontuais nessa aula, criamos as condições para o movimento cognitivo explicitado por Vigotski, no qual o conhecimento deve vir do abstrato, ir para o concreto e, mais uma vez, voltar ao abstrato (VIGOTSKI, 1996). Paralelamente, esse processo também permite, do ponto de vista epistemológico de nossas grandes teorias, o estabelecimento de uma relação que se assemelha ao desenvolvimento das ciências e às revoluções das teorias científicas. Assim, os momentos de crise nos paradigmas, criação de novas teorias, aceitação, instalação de um novo paradigma (KUHN, 1987), além da noção de falseabilidade (POPPER, 1985), são situações, similares a que esperamos que essa ferramenta faça surgir. Portanto, tal semelhança permite-nos forja uma ferramenta (*crise complexa*) que una essas grandes teorias distintas. Desta forma,

esse tipo de ação com o uso da ferramenta deve ser pensado com uma “visão geral do processo”, acompanhando seus reflexos pontuais ou ao decorrer da sequência didática.

<b>Ferramenta <i>Crise complexa</i> na atividade</b>	
Evento complexo	Paradoxo dos Gêmeos
Noção paradigmática	Os gêmeos teriam a mesma idade, pois o tempo é o mesmo para todos.
Crise	Os Gêmeos não possuem mais a mesma idade.

Figura 27 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade *Paradoxo dos Gêmeos*

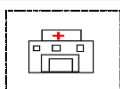
#### 4.1.1.2 Atividade: *Plantão médico*

A segunda atividade também foi criada utilizando a ferramenta *Crise complexa*. Novamente, gostaríamos de proporcionar momentos de crises nos paradigmas vigentes dos alunos com uma situação complexa para a aprendizagem. Ela pode ser utilizada em um momento específico ou para introduzir novos conceitos. No nosso caso, a atividade aconteceu após uma dinâmica sobre modelagem e modelos.

O objetivo desta atividade é trabalhar as noções de indutivismo e promover uma discussão profunda acerca da natureza das ciências. Buscamos com ela gerar uma situação em que o aluno possa se deparar com elementos em que ele deve estruturar ou forjar uma teoria explicativa e, após isso, nós possamos, premeditadamente, introduzir um elemento anômalo que instaure uma crise. Por meio dos prontuários, criamos uma situação na qual hábitos e comportamentos de pacientes que podem ser usados para criação de relações de causa e efeito para diversas patologias. Entretanto, em meio aos prontuários, há uma exceção que pode vir a colocar em “xeque” os modelos explicativos criados pelos estudantes. Nela, há um paciente saudável e com hábitos saudáveis que infarta, ou seja, algo que foge completamente das relações de causa e efeito que os alunos, possivelmente, estabelecerão.

Os materiais que utilizamos foram 15 exemplares de prontuários médicos fictícios criados por nós. Neles está contido nome, idade, patologia, tamanho, peso, sexo, hábitos comportamentais etc. Ainda que não seja essencial, utilizamos nomes inventados para as doenças. Por fim, foi utilizado um modelo de prontuário facilmente encontrado na internet.

## PRONTUÁRIO DO PACIENTE



## Hospital Robert Einstein

Rua Antonio Doll, Centro, Diadema - SP

## PRONTUÁRIO DO PACIENTE

Número do prontuário: 00001

Nome completo: Roberto da Silva

Data de nascimento: 12/7/1965

Sexo: [ X ] M [ ] F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 70 kg

Altura: 1,74m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Mecânico

Hábitos:

- Fuma
- Não Realiza exercícios físicos
- Bebe em média duas cervejas por dia
- Não bebe água
- Dieta desregulada

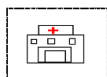
Patologia: Espetúlio Pulmonar

Recomendação:

- Para de Fumar
- Beber 2,5 Litros de água todo dia
- Regular dieta e comer cenoura, beterraba e rabanetes.

Figura 28 - Prontuário comum de um paciente

## PRONTUÁRIO DO PACIENTE



## Hospital Robert Einstein

Rua Antonio Doll, Centro, Diadema - SP

## PRONTUÁRIO DO PACIENTE

Número do prontuário: 000015

Nome completo: José de Oliveira

Data de nascimento: 06/06/1980

Sexo: [ X ] M [ ] F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 80kg

Altura: 1,83

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Físico

Hábitos:

- Realiza exercícios físicos regularmente
- Bebe 2 Litros de água por dia
- Dieta regulada
- Bebe uma cervejinha às vezes
- Toma refrigerantes no almoço de fim de semana

Patologia: Infarto do miocárdio

Recomendação:

- Diminuir refrigerantes no almoço de fim de semana

Figura 29 - Prontuário do paciente que gera a crise

Com isso, criamos uma situação na qual os alunos deverão encontrar uma forma de organizar e ordenar os prontuários. O que esperamos é que essas regras de organização sejam criadas a partir de uma mescla de observações ingênuas pautadas nas experiências de cada estudante, aliada a uma visão indutivista que irá conduzi-los a uma relação de causa e efeito



ilusória. Assim, buscando um debate, distribuimos os alunos em grupos. Feito isso, entregamos um kit de prontuários para cada grupo com as instruções:

*“Um hospital passa por um período de grande procura e atendimento. Com isso, os profissionais da saúde começaram a ficar sobrecarregados. Procurando uma maneira de “agilizar” as consultas, decidiram produzir uma relação dos históricos dos pacientes que apresentaram alguma patologia. Os médicos que escreveram o prontuário não compartilharam as informações. Desta forma, eles não têm noção de como analisar esse material. Assim, cada grupo deve analisar esses papeis e, de alguma maneira, achar uma relação nos históricos para o hospital.”*

O objetivo da atividade é, justamente, criar condições para a discussão dos limites da visão indutivista, buscando sua superação. É claro que partimos de um pressuposto que os alunos não dominam as metodologias científicas, mas que partilham de crenças baseadas em experimentação e indução. Por isso, com dissemos na atividade anterior, buscamos ações que reverberem no decorrer de todo o curso e não apenas na realização dessa tarefa.

<b>Ferramenta Crise complexa na atividade</b>	
Evento complexo	Estipular semelhanças entre os pacientes
Noção paradigmática	Há causa para patologia
Crise	Um paciente, completamente saudável, infarta.

Figura 30 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade Plantão médico.

#### 4.1.2 Aula 2

Na continuação do curso, a aula 2 era focada na caracterização de um evento e nos problemas e questões que motivaram Einstein a desenvolver a teoria da relatividade especial. Sendo assim, destacamos duas atividades criadas para essa aula. A primeira, *O problema de indução do eletromagnetismo*, foi desenhada utilizando a ferramenta *Crise complexa* e juntamente com a ementa do curso (do professor parceiro) que previa um momento para apresentação deste problema. Por outro lado, a segunda atividade, chamada *Evento*, foi construída com a ferramenta *Multidimensões*. Nela, utilizamos dois textos para discutirmos os significados desse termo (signo) *evento*, além de introduzirmos o significado de evento na dimensão relativística.

AULA 2	
<b><u>Objetivos e Habilidades</u></b>	<i>Entender a necessidade de referenciais e eventos e os postulados de Einstein.</i>
<b><u>Ferramentas utilizadas</u></b>	<i>Crises complexa e Multidimensões</i>
<b><u>Atividades ou Momentos</u></b>	<i>-O problema da indução do eletromagnetismo -Professor eventual</i>

Figura 31 - Resumo de Aula (aula2)

#### 4.1.2.1 Atividade: O problema da indução do eletromagnetismo

No processo de tornar as atividades simbióticas e fluidas com o curso e ementa do professor parceiro, buscamos compreender como utilizarmos os conteúdos programáticos a partir de nossas ferramentas. Desta forma, um dos primeiros passos foi caracterizar a abordagem que o professor utilizava para trazer os conceitos da teoria da relatividade especial. Portanto, identificamos que, de maneira bastante interessante, o docente utiliza-se dos principais problemas que a física enfrentava na década de 10 do século passado para introduzir o assunto. Ou seja, o professor apresentava o contexto científico que levou Einstein a propor sua teoria, numa clara articulação com as crises de paradigmas que trabalhamos em uma de nossas ferramentas. Desta forma, utilizamos um desses problemas para trabalharmos a relação de referencial, o problema da origem da indução eletromagnética. Como destacamos de Silva e Carvalho (2012):

A diferença entre a antiga visão do eletromagnetismo e a visão baseada na teoria da relatividade é que em um referencial onde uma carga se move com  $v$  na presença de um campo magnético, atua sobre essa carga uma força magnética ( $F_L = qv \times B$ ), já em um outro referencial inercial que se desloca com a mesma velocidade da carga, isto é, em um referencial onde a velocidade da carga é zero ( $v' = 0$ ), a força que atua nesta carga será de natureza elétrica ( $F'_L = qE'$ ) (SILVA E CARVALHO, p.2, 2012)

Sendo assim, essa crise, nem um pouco trivial, permite uma discussão profunda do problema da indução (CHALMERS, 1993) e sua relação com os referenciais iniciais das forças. Ademais, ao utilizar-se de um pensamento de um modo ingênuo ou baseado nas explicações da física clássica, não é possível solucionar tal dificuldade ou compreender suas implicações. Por isso, criamos um momento em que o professor apresenta o problema e, após uma grande discussão, apresenta matematicamente a solução. Além disso, essa situação apresenta muita complexidade que permite o trato mais sofisticado da importância real do referencial, fugindo das discussões básicas da cinemática e não antecipando suas implicações relativísticas. Por fim, é uma atividade de aula que corrobora com atividade desenvolvida na primeira aula.

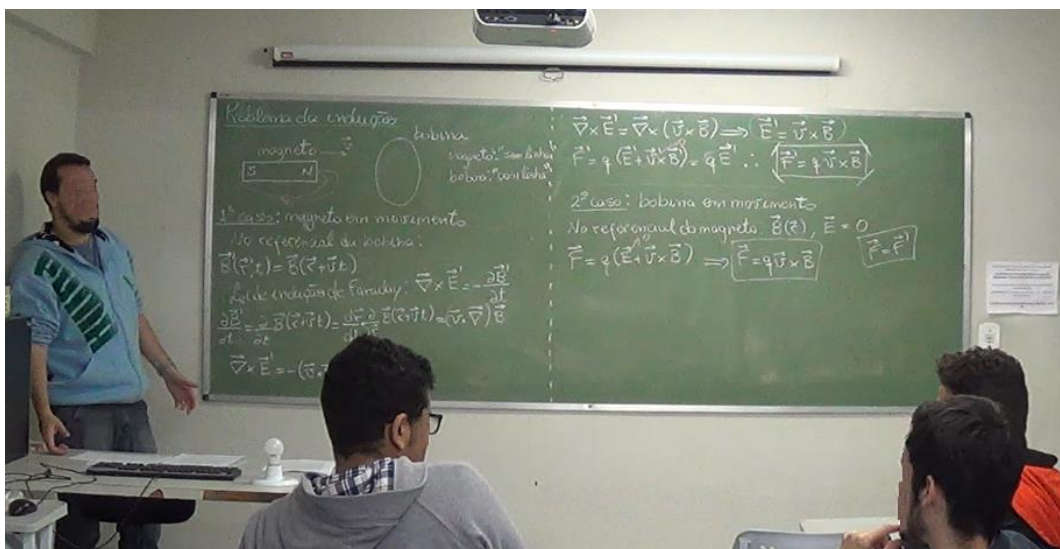


Figura 32 - Resolução do problema da indução do eletromagnetismo durante a atividade.

Ferramenta <i>Crise complexa</i> na atividade	
Evento complexo	Natureza das forças de uma carga em movimento
Noção paradigmática	Física clássica
Crise	Duas forças de naturezas distintas que agem sobre uma carga em movimento em dois referenciais

Figura 33 – Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade problema de indução.

#### 4.1.2.2 Atividade: Professor Eventual

Essa atividade foi criada a partir da ferramenta de design *Multidimensões*. Ela consiste na leitura de dois textos. Os textos utilizados são de duas naturezas, uma é uma criação nossa (chamado professor eventual, disponível abaixo) e o outro é “Identificar, Ordenar e Relacionar Eventos” de Viviana Isabel Guerreiro Grave Cabrita, que estão disponíveis nos anexos da dissertação. Um visa trazer o debate da noção e caracterização de um evento, já o outro busca uma maneira de ordenar ou visualizar um arranjo de eventos para a resolução de problemas. O objetivo desta atividade é que os alunos, por meio da leitura e discussão dos textos, trabalhem o conceito de evento e seus diferentes significados. Segundo o aspecto da teoria cognitiva de nossa ferramenta, devemos dar especial importância no uso dos signos e seus significados (VIGOTSKI, 1996). Desta forma, a atividade deve trabalhar os amplos significados do termo evento ou apresentar situações em que esses significados sejam confrontados. Ademais, o artigo “Identificar, Ordenar e Relacionar Eventos” traz, em suas primeiras páginas, contribuições para estruturação do pensamento em relação à noção acerca do que seja um evento. Portanto, o as dimensões dos significados do signo *evento* são confrontadas nos textos e nas discussões gerais de sala de aula até chegarmos ao significado mais adequado para um evento na teoria da

Relatividade. Isso se faz necessário, pois o termo é imprescindível para a compreensão dos elementos principais da teoria da Relatividade. Todavia, de maneira geral, o tratamento detalhado da noção de evento não recebe a devida atenção e acaba sendo trabalhado a partir de uma noção intuitiva.

O acompanhamento do debate surgido a partir do texto é crucial para que a atividade cumpra seu objetivo: permitir que as ideias iniciais dos estudantes caminhem para a noção de evento mais adequada para a Relatividade e, assim, fazer com que eles compreendam o que o caracteriza. Desta forma, para que o professor consiga mediar às conclusões dos alunos ele precisa ter em mente o que determina um evento. Esse significado particular que buscamos para evento é toda ação ou fenômeno que ocorre em um ponto no espaço-tempo. Para esse *evento* há medidas  $x$ ;  $y$ ;  $z$ ;  $t$ . Estas, por sua vez, estão ligadas intrinsecamente ao referencial. Ou seja, esse fenômeno observado apresenta caracterização por meio de coordenadas  $(x; y; z; t)$ . Desta forma, embora o evento seja o mesmo, as medidas variam em relação a referenciais diferentes. Por fim, com a relatividade, a simultaneidade dos eventos assume uma necessidade de descrição do referencial adotado para dizer que algo é simultâneo, mudando de forma completa a noção cotidiana de simultaneidade.

Para essa atividade foram necessárias cópias dos textos para os participantes. Não se faz necessário o uso de exemplares físicos, por consequente, o texto pode ser em formato digital. Por fim, devemos utilizar uma folha para registrar as ideias. Fizemos isso, com o intuito de que os estudantes concretizassem suas concepções ao longo do processo.

<b>Ferramenta <i>Multidimensões</i> na atividade</b>
<p><i>Signo- Evento</i></p> <p><i>Dimensões – 4</i>  Dimensão Cotidiana;  Dimensão Literal;  Dimensão Etimológica;  Dimensão Relativística.</p> <p>Significados  Cotidiano;  Literal;  Etimológico;  Relativístico.</p>

Figura 34 - Resumo da estrutura da ferramenta *Multidimensões* na atividade *Professor eventual*

### 4.1.3 Aula 3

Nessa aula criamos duas atividades para trabalhar o conceito de tempo. Para isso, utilizamos as ferramentas *Multidimensões* e *Crise complexa*. Na primeira, "Que horas são?", trabalhamos a passagem e estimativa subjetiva de tempo. Já para atividade *Relógio de luz*, criamos uma versão "física" junto aos alunos do relógio que dá nome a atividade.

AULA 3	
<b><u>Objetivos e Habilidades</u></b>	<i>Medidas dos relógios; o tempo; relógio de luz.</i>
<b><u>Ferramentas utilizadas</u></b>	<i>Multidimensões; Crise complexa</i>
<b><u>Atividades ou Momentos</u></b>	<i>Atividade que horas são? Relógio de Luz.</i>

Figura 35 - Resumo de Aula (aula3)

#### 4.1.3.1 Atividade: *Que horas são?*

Para a atividade *que horas são?* realizamos o experimento proposta no artigo do New York Times (<https://learning.blogs.nytimes.com/2010/01/06/a-matter-of-time-conducting-experiments-on-perception-and-estimations-of-time/>), adequando-a para a nossa realidade. Com isso, os alunos deveriam estipular a passagem ou intervalo de tempo de algumas ações, uma boa e outra ruim. Para boa, escolhemos uma gincana infantil que envolvia sequências de palavras, por outro lado, a atividade considerada ruim foi a leitura de parte da constituição federal.

Com essa atividade buscamos a debate sobre a singularidade da percepção de tempo. Depois dessa etapa, utilizamos o texto (<http://www.nytimes.com/2010/01/05/health/05mind.html>) para discutir como o cérebro relaciona a noção e a contagem do tempo e como esse tempo pode ser experimentado de maneiras diferentes. Nessa discussão devemos ter o cuidado de trabalhar as dimensões cotidianas e da física clássica do conceito de tempo. Com isso, aos poucos mostrarmos como esse signo, a priori, bastante simples de compreender (dentro dessas duas dimensões) pode adquirir diferentes significados. Desta forma, em meio a discussão, devemos aos poucos introduzir o conceito de uma nova dimensão para cada signo tempo, o tempo relativístico.

<b>Ferramenta <i>Multidimensões</i> na atividade</b>
<p><i>Signo- Tempo</i></p> <p><i>Dimensões – 3</i></p> <p>Dimensão Cotidiana; Dimensão física clássica; Dimensão física relativística;</p> <p>Significados Cotidiano; Físico clássico; Físico relativístico;</p>

Figura 36 - Resumo da estrutura da ferramenta *Multidimensões* na atividade que horas são?

#### 4.1.3.2 Atividade: Relógio de Luz.

Já a segunda atividade, recriamos o efeito do vídeo (<https://www.facebook.com/SciencePagecom/videos/252126065223690/>) para discutir teoricamente o relógio de luz e suas implicações. Desta forma, tentamos concretizar a terceira dimensão dos significados para o signo tempo, ou seja, por meio dessa atividade, buscamos introduzir afundo os estudantes a dimensão relativista (para o tempo). Com essa atividade, propiciamos a oportunidade ideal para o surgimento de uma compreensão diferente acerca da noção de tempo, até então vista de maneira bastante trivial. Quando essa terceira dimensão é introduzida, o choque dos diferentes significados desse mesmo signo propicia a instauração de uma crise. Isso ocorre, pois a explicação para o relógio de luz não é possível de ser feita se ficar somente dentro do quadro explicativo fornecido pela física clássica e pela concepção cotidiana de tempo. Portanto, surge mais um momento complexo passível de ser utilizado para aprendizagem e caracterizado por quebras de paradigmas.

Apesar dessas atividades parecerem simples, bem executadas, seus resultados têm potencial para reverberar durante todo o curso. O professor parceiro pautava o curso sobre as diferentes compreensões do espaço-tempo, explicando suas concepções desde Aristóteles, passando por Galileu, Newton até chegar em Einstein. Além disso, gostaríamos que o processo de elaboração desse novo paradigma, dessa nova compreensão do tempo fosse efetivo e contínuo, não apenas “engolir os conteúdos”, com respostas prontas dos estudantes sem uma real compreensão das profundas mudanças inseridas por Einstein. Portanto, o cuidado com os termos utilizados era de suma importância. Sendo assim, a partir desta aula, começamos a trabalhar as 3 dimensões de significados para o tempo gradativamente durante todo o curso.

Por fim, apesar de simples, as atividades criam situações muito oportunas para o trato de aspectos importantes para a aprendizagem de uma parte fundamental da Relatividade.

<b>Ferramenta <i>Crise complexa</i> na atividade</b>	
Evento complexo	Relógio de Luz
Noção paradigmática	Tempo para física clássica e cotidiana
Crise	A compreensão do tempo absoluto não descreve o problema.

Figura 37 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade relógio de luz.

#### 4.1.4 Aula 4

A aula 4 possuía como tema central a relação com o espaço e suas medidas na primeira metade da aula. Além disso, como os alunos, até esse momento, já tinham trabalhado os conceitos de evento e tempo, a segunda metade de aula foi focada também nas transformações de coordenadas em dois referenciais.

As atividades criadas foram *Marco Zero* e *Assassino Duplo*. A primeira, desenhamos utilizando a ferramenta *Multidimensões*. Ela era focada na interpretação do espaço, suas coordenadas e suas medidas. Simultaneamente, criamos, com o uso das ferramentas de design *Crise complexa* e *Multidimensões*, a atividade *Assassino Duplo*. Esta foi utilizada para trabalhar conceitos das transformações de Lorentz para dois eventos e introduzirmos a noção de simultaneidade na relatividade.

<b>AULA 4</b>	
<b><u>Objetivos e Habilidades</u></b>	<i>Medidas espaciais, coordenadas de eventos e transformações das coordenadas em dois referenciais.</i>
<b><u>Ferramentas utilizadas</u></b>	<i>Multidimensões; Crise complexa</i>
<b><u>Atividades ou Momentos</u></b>	<i>Marco Zero Assassino duplo</i>

Figura 38 - Resumo de Aula (aula4)

##### 4.1.4.1 Atividade: Marco zero

Essa atividade trabalha o signo espaço. Desta forma, a fim de discutir o conceito de medição espacial de um evento em mais de um referencial, utilizamos fitas e bastões para simularmos dois sistemas de medidas. Portanto, utilizamos a ferramenta *Multidimensões*. Com ela, é possível contrapor os significados de referencial e de medidas (a partir do referencial)

para um evento, assim, nossos signos alvo para desenvolver a atividade foram **referenciais e medidas**.

Os alunos precisavam caracterizar um evento (ou mais) em referenciais diferentes. Para isso, cada grupo deveria utilizar um bastão que era o eixo principal do sistema de medidas, o marco zero. É importante ressaltar que, para funcionalidade da atividade, os alunos devem, ao final, chegar a medidas diferentes para os mesmos eventos nos diferentes referenciais. Desta forma, um dos maiores desafios é criar situações em que os eventos tenham coordenadas diferentes. É importante salientar que não queremos usar escalas ou fitas com tamanhos diferentes, pois isso poderia induzir ao pensamento que o problema está na medição e não interpretação dos eventos.

Para o nosso caso, pensamos em uma atividade silenciosa, chamada, marco zero. Cada grupo recebeu um bastão que indicava o marco zero do referencial de medidas. Em cada bastão havia fitas métricas, semelhantes às usadas por alfaiates e costureiras, grudadas para indicar os eixos x, y e z. Cada grupo recebia um papel que descrevia o comportamento que eles deveriam assumir antes de cada evento se iniciar. Fizemos isso com intuito de “controlar” a movimentação dos bastões na sala, assim, podemos ter um grupo em repouso e outro em movimento. Ademais, por meio desses “comportamentos controlados” podemos presumir ou estipular as possíveis medições dos grupos. Sendo assim, distribuímos uma série de comando e eventos. Portanto, ao final, para cada evento, devido a distribuição e movimentos dos eixos referenciais na sala, os alunos mediram coordenadas diferentes para cada evento.

<b>Ferramenta <i>Multidimensões</i> na atividade</b>
<p><i>Signo- Referencial.</i></p> <p><i>Dimensões – 3</i></p> <p>Dimensão Cotidiana; Dimensão física clássica; Dimensão física relativística;</p> <p>Significados</p> <p>Cotidiano; Físico clássico; Físico relativístico;</p>

Figura 39 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Marco zero.



#### 4.1.5 Aula 5

##### 4.1.5.1 Atividade: Assassino duplo

Essa atividade foi criada utilizando as ferramentas de design *Crise complexa* e Multidimensões. Para desenvolvê-la pensamos em utilizar o apelo emocional que os seriados e filmes de ação trazem. Logicamente, esse não é o diferencial da atividade. Portanto, como os alunos nessa parte do curso já tinham trabalhado os diferentes conceitos de tempo juntamente com o relógio de luz, nosso desafio era criar uma atividade capaz de possibilitar uma situação complexa para aprendizagem (*Crise complexa*) que produzisse uma crise nos paradigmas explicativos oriundos da física clássica. Ademais, essa atividade deveria trabalhar diferentes significados do mesmo signo. Sendo assim, baseado em um exercício das anotações de aula do professor Dr. Manoel Robilotta que envolvia contração espacial e dilatação do tempo, desenvolvemos uma atividade que unia os aspectos de nossas ferramentas. Com isso, ela gerava uma crise e permitia a iniciação da aprendizagem a partir da complexidade acerca da noção do signo espaço.

Novamente, utilizamos uma situação paradoxal. Nela o estudante é um assassino de aluguel. Sua tarefa é executar dois terroristas que se encontram no mesmo ônibus. A única peculiaridade do serviço é que ambas as mortes devem ocorrer ao mesmo tempo. Para padronizar a escolha do espaço entre os terroristas dissemos que ambos se encontravam sentados nesse mapa de assentos do ônibus

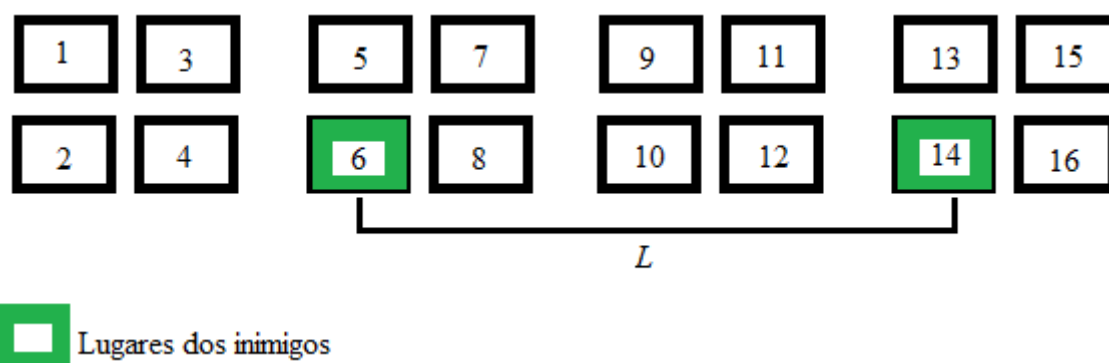


Figura 40 - Ilustração indicando o mapa de assentos do ônibus

Os alunos deveriam utilizar o esquema de armas a seguir para realizar os disparos, teoricamente, respeitando a distância  $L$  e a simultaneidade das mortes.

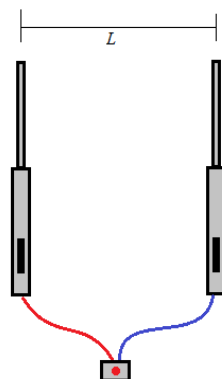


Figura 41 - Ilustração indicando das armas em distância  $L$  uma da outra.

Assim, o atirador é acionado exatamente quando a distância  $L$  dos assentos estiver alinhada com as armas. Por fim, desenho do desenvolvimento do plano deve ser o seguinte:

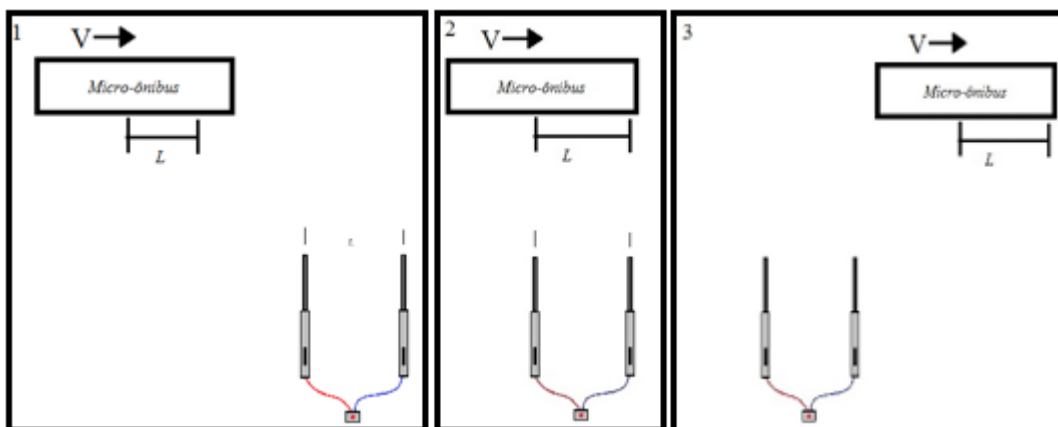


Figura 42 - - Ilustração indicando das armas do deslocamento do ônibus em relação as armas.

Desta forma, com desenrolar da atividade, os estudantes devem responder uma série de questões, para que, surjam suas concepções espontâneas e aquelas baseadas nas explicações clássicas da descrição dos eventos. Ou seja, trabalhamos a questão simples: *Se tudo der certo, quantos terroristas serão atingidos?*

Evidentemente, em um mundo clássico, a resposta é bastante simples. Mas lembrando, novamente, desejamos criar uma crise nesse paradigma utilizando a dimensão de significado relativístico. Sendo assim, resolvemos a história da atividade utilizando-se da noção de eventos.

Referencial 1- Mundo do Atirador (A)

Referencial 2- Mundo do Micro-Ônibus (MB)

Eventos

$E_1 \rightarrow$  Bala da arma da esquerda crava o micro-ônibus.

$E_2 \rightarrow$  Bala da arma da direita crava o micro-ônibus.

Para o evento 1

$$E_1 \left\{ \begin{matrix} X_{1A} \\ X_{1MB} \end{matrix} ; \begin{matrix} t_{1A} \\ t_{1MB} \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} ; \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} \right\}$$

Assim, o evento  $E_1$  ocorre com coordenadas  $x$  e  $t$  igual a zero em ambos os referenciais.

$$E_2 \left\{ \begin{matrix} X_{2A} \\ X_{2MB} \end{matrix} ; \begin{matrix} t_{2A} \\ t_{2MB} \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} L \\ ? \end{matrix} ; \begin{matrix} 0 \\ ? \end{matrix} \right\}$$

Utilizando as transformações de Lorentz:

$$X_{2MB} = \gamma(X_{2A} - vt_{2A}) \rightarrow X_{2MB} = \gamma(L - v0) \rightarrow X_{2MB} = \gamma L$$

$$t_{2MB} = \gamma\left(t_{2A} - \frac{v}{c^2}X_{2A}\right) \rightarrow t_{2MB} = \gamma\left(0 - \frac{v}{c^2}L\right) \rightarrow t_{2MB} = -\frac{\gamma v L}{c^2}$$

$$E_2 \left\{ \begin{matrix} X_{2A} \\ X_{2MB} \end{matrix} ; \begin{matrix} t_{2A} \\ t_{2MB} \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{matrix} L \\ \gamma L \end{matrix} ; \begin{matrix} 0 \\ -\frac{\gamma v L}{c^2} \end{matrix} \right\}$$

A partir dos resultados, fica evidente uma crise no paradigma clássico, pois a noção de simultaneidade novamente é colocada em xeque. Já que para o ônibus, a bala da direita acerta primeiro um dos terroristas, enquanto para o atirador os eventos são simultâneos. Ademais, focando na quebra do conceito de espaço, podemos concluir que a distância formada entre as perfurações das balas é maior que a distância  $L$  entre as armas. Sendo assim, voltamos a questão: *Se tudo der certo, quantas pessoas serão atingidas?*

Para aqueles que possuem familiaridade com o conteúdo, podem imaginar que essa atividade também possa ser utilizada para trabalhar o cone de luz, a relação de métrica ou geometria de Minkowski. Isso é possível, pois utilizamos as ferramentas como estruturantes da atividade, e essas foram idealizadas para tratarem da física relativística ou moderna. Por conseguinte, tornando-se atividades capazes de serem usadas para atingirem outros objetivos ou conceitos dentro da física moderna. Sendo assim, no cerne da nossa atividade, utilizamos a contração do espaço e dilatação do tempo (no referencial do atirador) para discutir as diferentes medições de um mesmo evento entre referenciais distintos e com movimento relativo entre eles, além de introduzirmos a discussão sobre a simultaneidade.

<b>Ferramenta Crise complexa na atividade</b>	
Evento complexo	Em um mundo relativístico, ainda aconteceriam as duas mortes?
Noção paradigmática	Espaço para física clássica e cotidiana
Crise	A análise dos eventos com a dilatação espacial.

Figura 43 - Resumo da estrutura da ferramenta crise complexa na atividade Assassino duplo.

<b>Ferramenta <i>Multidimensões na atividade</i></b>
<p><i>Signo- Espaço.</i></p> <p><i>Dimensões – 3</i>  Dimensão Cotidiana;  Dimensão física clássica;  Dimensão física relativística;</p> <p>Significados  Cotidiano;  Físico clássico;  Físico relativístico;</p>

Figura 44 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Assassino duplo.

#### 4.1.6 Aula 8

<b>AULA 8</b>	
<b><u>Objetivos e Habilidades</u></b>	<i>Velocidade relativa x velocidade relativística.</i>
<b><u>Ferramentas utilizadas</u></b>	<i>Multidimensões; Crise complexa</i>
<b><u>Atividades ou Momentos</u></b>	<i>Deslocamento pelo tempo</i>

Figura 45 - Resumo de Aula (aula8)

##### 4.1.6.1 Atividade: Deslocamento pelo tempo

Os conceitos de espaço, tempo e espaço-tempo já foram trabalhados até esse momento do curso. Devemos, então, entender os desdobramentos dessa nova visão acerca da natureza. Assim, aqueles que dominam o pensamento relativístico conseguem compreender como os signos *tempo*, *referencial*, *espaço* assumem diferentes significados nas três dimensões trabalhadas: dimensão cotidiana, dimensão da física clássica e dimensão da física relativística. Porém, uma das implicações da mudança desses significados acarreta uma nova interpretação para conceito de velocidade. Desta forma, introduzimos a concepção de velocidade relativística. E isso pois é imprescindível entender que signo e significado, na teoria de Vigotski, se relacionam nos limites do pensamento clássico e relativístico, ou seja, sem fazermos uma mudança de significado para esse mesmo signo, pouco ou nada somos capazes de compreender a Teoria da Relatividade. Para isso, utilizamos as ferramentas *multidimensões* e *crise complexa* para desenhar uma atividade capaz de trabalhar as dimensões acerca do signo velocidade, além de proporcionar um momento complexo para aprendizagem e crise para a construção de um novo paradigma.

A priori, com o uso das ferramentas, partimos focando quais fenômenos que a velocidade relativística podia ser comparada (da maneira que necessitávamos) com a velocidade clássica. Desta forma, relacionamos a soma vetorial clássica com o segundo postulando da teoria da relatividade especial. Com isso, a atividade consistia em relacionar e conflitar as noções clássicas e relativísticas de velocidade. Além disso, um de seus objetivos era proporcionar um momento para desvincular, inicialmente, do pensamento de soma e subtração de velocidades clássico. Desta forma, utilizamos um vídeo do programa de TV *mythbusters* em que eles utilizam um canhão acoplado a um carro. Ao atirar a bola do canhão, o carro está com velocidade em módulo igual à do disparo, porém, no sentido contrário. Assim, a bola do canhão cai diretamente no chão em um movimento retilíneo. Além disso, outro artifício que utilizamos foi a realização de questões que remetiam a um desafio mental.

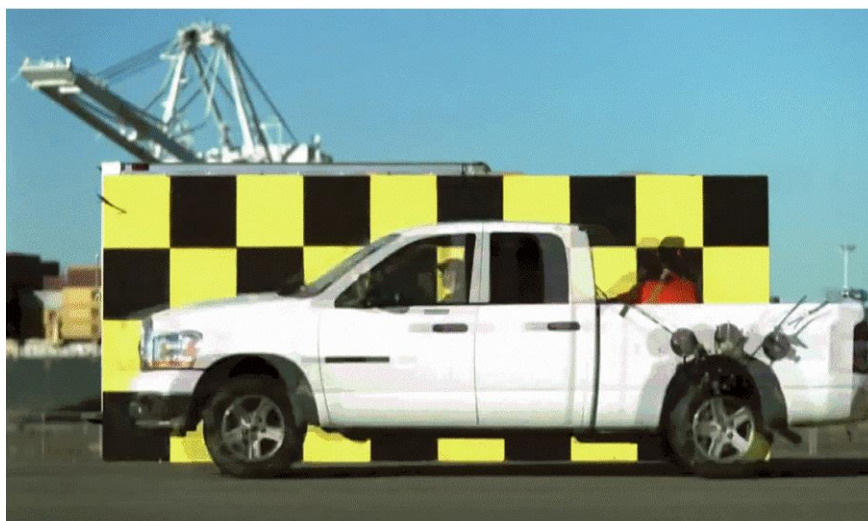


Figura 46 - Gif utilizada e retirada de uma sequência de cena do programa *Mythbusters*

Com isso, as questões conflitavam o segundo postulando, velocidade vetorial clássica e velocidade relativística. Assim, algumas questões eram:

1. O que ocorreu nesse vídeo ocorreria da mesma forma a partir do ponto de vista relativístico?
2. O módulo da velocidade final da bola seria igual à velocidade clássica?
3. Se a bola fosse um fóton o que ocorreria?
4. Qual seria a velocidade da luz neste caso?

Desta forma, as discussões discorrem sempre confrontando o conceito de velocidade na física clássica e na relativística.

<b>Ferramenta <i>Multidimensões</i> na atividade</b>
<p><i>Signo</i>- Velocidade.</p> <p><i>Dimensões – 2</i> Dimensão física clássica; Dimensão física relativística;</p> <p>Significados Físico clássico; Físico relativístico;</p>

Figura 47 - Resumo da estrutura da ferramenta Multidimensões na atividade Descolamento pelo tempo.

#### 4.1.7 Demais aulas e atividades

Apresentamos até aqui as principais atividades criadas a partir de nossas ferramentas. É necessário ressaltar que o curso não se limitou somente a elas, sendo também composto por outros momentos como: avaliações, listas de exercícios, exercícios em aulas, atividades secundárias, aulas expositivas e debates acerca do conteúdo.

Devemos destacar que o caráter simbiótico adquirido pelas atividades criadas por nós e a ementa idealizada pelo professor parceiro. E isso aconteceu pois, desde o início, nos preocupamos com os objetivos que ele queria alcançar e, principalmente, como ele queria alcançá-los. Isso reforça nossa certeza de que o papel do professor é imprescindível em qualquer momento, tanto na elaboração quanto na aplicação de um curso. Passamos horas apresentando a ele os objetivos desse mestrado, revelando que ainda que tenhamos buscado elementos estruturantes de uma SD, sem sua participação efetiva nada faria sentido. Assim, existiram momentos, atividades e partes das aulas exclusivas para apresentar e discutir a compreensão do espaço-tempo de Galileu, Aristóteles e Einstein, idealizadas pelo professor parceiro. Desta forma, focamos o desenvolvimento no que era essencial para as ambas, pesquisadores e professor parceiro.

Enquanto pesquisadores, estávamos focados em encontrar os estruturantes da SD e, portanto, colocamos mais energia na criação das atividades de modo a preparar as melhores condições, a partir dos pressupostos teóricos oriundos das Grandes Teorias, para o ensino dos conteúdos essenciais da teoria da relatividade especial. Simultaneamente, o professor parceiro nos auxiliava nesse processo, pois, era muito aberto ao diálogo, além de expor sempre seu ponto de vista em relação aos conteúdos e seus objetivos pessoais. Dessa forma, encontramos evidências de que há, dentro do design de sequências usando a TLS, aspectos estruturantes que, se bem elaborados, criam uma base sólida de atividades que são, agora, criadas a partir de teorias cognitivas, pedagógicas e epistemológicas e não apenas na intuição ou experiência

docente. Mas isso não implica, de forma alguma, em "receitas de bolo", lista de procedimentos mecanizados ou objetos educacionais engessados. Pelo contrário, fornecem uma base teórica segura para o professor trabalhar de modo que ele compreenda onde pode inserir aspectos pessoais e visões particulares sem que a sequência perca o rigor e nível de detalhamento minucioso.

É importante dizer que, tanto nós pesquisadores quanto o professor parceiro, valorizamos muito o ensino do conteúdo de Física. Contudo, ressaltamos que isso não significa que abrimos mão ou consideramos menos importante as realizações de questionamentos, desafios mentais e discussões. Assim, destacamos que sem o domínio conceitual todas as discussões e argumentações correm um grande risco de serem inócuas (TIBERGHIE et al., 2005, LIJNSE, 2001, VIIRI E SAVINAINEN, 2008, SAVINAINEN et al. 2015). Portanto, parte das aulas sempre eram destinadas a exercícios para trabalhar os conteúdos abordados ou para conectar momentos e atividades realizadas, criadas ou não por nós. Separamos dois exemplos para que o leitor possa entender que além das atividades criadas há uma necessidade, que não é exclusiva do conteúdo de física moderna, mas de toda área da ciência, da prática de exercícios e raciocínio matemático.

Para exemplo, destacamos:

*“A velocidade média clássica pode ser atribuída à taxa de variação de espaço pelo tempo. Ou seja, é a medida da razão entre o espaço deslocado e o tempo que foi gasto para se deslocar. Entretanto, na relatividade, poderíamos atribuir essa noção de taxa de variação a velocidade? Por quê?”*

*“O atleta Usain Bolt é capaz de correr a uma velocidade de, aproximadamente, 40 km/h. Essa medição é feita pelas pessoas presentes no estádio, que, logicamente, estão paradas. Porém, se Bolt pudesse realizar a prova dos 100 metros dentro de uma espaçonave (de comprimento 150m) com movimento no mesmo sentido e direção do deslocamento da prova, ele seria mais ou menos veloz? (Imagine que você realizará a medição em uma plataforma que está em repouso em relação ao atleta).”*

As questões buscam que o aluno consiga operar o conteúdo trabalhado por meio de exercícios mentais ou reflexão sobre os fenômenos discutidos nos mais diversos exemplos e, principalmente, refletindo acerca da relação universal da física em seu novo paradigma (relativístico). Essas questões foram feitas para o fechamento da atividade *Deslocamento pelo tempo* da aula 8. Sendo assim, procuramos trabalhar as mais diferentes dimensões do ensino que o conteúdo físico necessita para ser aprendido.

Essas questões foram utilizadas com objetivos bastante claros. Utilizamo-las, pois, segundo nossas ferramentas e as grandes teorias que as fundamentam, um novo paradigma leva tempo para ser aceito. Sendo assim, para **aula 9** trouxemos essa série de questões pois gostaríamos de discutir e evidenciar o quanto os alunos haviam compreendido das atividades que envolviam os conceitos de dilatação temporal, contração espacial e relógio de luz. Além disso, nas últimas questões fizemos isso para que o professor pudesse iniciar a métrica de Minkowski.

O trabalho de questões e exercícios colabora para desenvolvimento das competências e habilidades necessárias no entendimento e aplicação da física-matemática. Ao invés da realização de exercícios, sejam matemáticos ou conceituais da física, ser tratada como algo mecanizado e repetitivo, seu uso, se feito de maneira consciente e teoricamente compreendido, é um instrumento imprescindível para o processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos físicos. Além disso, um dos objetivos da utilização dos exercícios ou desafios mentais era que, por meio deles, sempre correlacionávamos e sistematizávamos conteúdos trabalhados em aulas anteriores. Ou seja, para uma série de conceitos os alunos eram constantemente levados a, mais uma vez, refletir, por exemplo, sobre a noção de evento, a relação entre os referenciais ou a compreensão dos efeitos relativísticos.

Outro ponto importante foi que procuramos exercícios capazes de fazer o aluno operar dentro do conteúdo apresentado e, a partir disso, resolvê-lo. Isso se faz necessário, pois nosso público alvo eram licenciandos, ou seja, devemos formar professores capazes de lecionar e compreender os conteúdos e suas mais diferentes implicações. Ademais, tivemos a preocupação de que o aluno não fosse “robotizado” no uso de equação simplificadas da relatividade. Com isso, proporcionamos momentos para que os alunos conseguissem compreender mais profundamente os fenômenos estudados e, principalmente, como analisá-los. Além disso, mostramos com essas “notações simples” usadas em livros textos mais tradicionais limitavam a compreensão da teoria, empobrecendo a compreensão do conteúdo de maneira mais profunda.

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma} \quad \Delta x' = \gamma \Delta x$$

Equação 1- Exemplos de notações simplificadas utilizadas em livros textos tradicionais.

Por exemplo, na aula 7, trabalhamos demasiadamente as diferentes abordagem e notações que envolvem os cálculos matemáticos. Por meio de exemplos e questões demonstramos a todo momento que há diferentes representações, dependendo da referência bibliográfica utilizada. Por isso, o domínio do conteúdo e a compreensão do conceito de evento é de suma importância para os licenciados.



$$\begin{array}{c}
 \hline \hline
 t_2 = \gamma(t_1 - \frac{vS_1}{c^2}) \\
 \Delta S_B = \gamma \Delta S_S \qquad \Delta S_B = \gamma \Delta S_S \\
 S_M = \gamma(S_J - vt_J) \\
 \Delta Tm = \frac{\Delta T_R}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ ou } \Delta Tm = \Delta T_R \cdot \gamma \\
 \Delta x' = \gamma \Delta x \qquad \Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma}
 \end{array}$$

Equação 2 - Exemplos dos tipos de notações usadas.

Por fim, destacamos que todos os exercícios e listas possuíam objetivos específicos. Ou seja, em cada um tínhamos claro o que buscamos com cada questão e desafio.

O curso por completo foi um processo simbiótico e funcional, pois conseguimos conciliar nossos objetivos com os objetivos e ementa do professor parceiro. Assim, é possível o design de um curso que tenha um núcleo rígido bem estruturado e com grande nível de detalhamento, mas ainda com espaço para desenvolvimento pessoal e intuitivo (não em sua totalidade) do professor.

## 4.2 ANÁLISE

Para a análise das atividades fizemos um estudo de caso gravando, por meio de vídeos e gravadores de áudio, o desenvolvimento das atividades e discussões (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Para isso, em alguns momentos separamos os alunos em grupos. Ademais, com intuito de produzir um material mais rico para a coleta dos dados, selecionamos um grupo para ser observado de perto, o grupo focal. Sendo assim, os dados presentes nessa análise vêm de aspectos gerais da sala, bem como de discussões internas de um grupo específico. Portanto, as siglas **A1**; **A2**; **A3** e **A4** descrevem as falas de alunos oriundos do grupo focal, enquanto, **G2**; **G3**; **G4** dos demais grupos e, por fim, **P1** e **P2** dos professores.

Um ponto que se faz necessário o destaque é a influência dos participantes na coleta de dados. Há um impacto que devemos salientar. Como descrito no primeiro parágrafo, de maneira ideal, gostaríamos da formação de um grupo focal e a discussão em demais grupos. Entretanto, isso só foi possível em determinadas aulas, pois, algumas aulas iniciavam com um grupo pequeno de alunos (que impossibilitava a divisão em grupos) e, aos poucos, iam aumentando o número de participantes ou, infelizmente, permaneciam com um grupo muito pequeno de alunos. Desta forma, apresentamos dados que levam às conclusões finais dessa

pesquisa que, apesar de todas as dificuldades, possibilitam bons questionamentos e fortes evidências acerca dos elementos estruturantes de uma Sequência Didática.

Nossa análise, seguindo Lüdke e André (1986), foi realizada em nosso estudo de caso. Desta forma, analisamos as atividades das aulas apresentadas na seção 4.1. *Ferramentas e as atividades*. Fizemos a análise desse recorte, pois, acreditamos que foram as principais atividades que influenciaram no curso. Ademais, tais atividades, envolviam os conceitos ou temas centrais da relatividade, como: tempo, espaço, espaço-tempo e simultaneidade. Com isso, buscamos indícios, em meio às falas e comportamento dos alunos, que demonstrem a influência das ferramentas de design na atividade, evidenciando tal ferramenta como estruturante da atividade e sequência didática.

A ferramenta, como estruturante, deve ser usada para criar as atividades, e ao mesmo tempo, seus principais aspectos e teorias devem ser identificados durante sua aplicação. Isso é de extrema relevância, pois tal fato permite que estruturantes possam fazer parte do núcleo rígido (LIJNSE, 2001), do resumo de design RUTHVEN et al., 2009; LEACH & SCOTT, 2002, por conseguinte, produzindo materiais com nível de detalhamento minucioso (LEACH et al., 2010).

Os pesquisadores e o professor parceiro, acreditamos que uma das principais contribuições da teoria da relatividade é a mudança da forma de pensar e compreender a natureza. Desta maneira, julgamos imprescindível o trabalho e as discussões sobre a natureza e a filosofia das ciências. Sendo assim, é preciso buscar o complexo, difícil, porém necessário desprendimento da compreensão tradicional e clássica do fazer científico, no qual a experimentação tem um papel central e permite, facilmente, uma visão indutivista e ingênua da Ciência (CHALMERS, 1993). Por isso, precisávamos criar uma atividade que fosse capaz de trabalhar a crise no paradigma e sua quebra. Pudemos criá-la, pois nossos aportes teóricos e ferramentas de design corroboravam e permitiam sua criação.

Após criada a atividade plantão médico, uma das principais expectativas que tínhamos eram que, durante sua realização, os alunos fossem guiados, ingenuamente, por aspectos “experimentais ou evidenciais cotidianas”, reveladora de concepções indutivistas do fazer científico, que “funcionaria” até falhar em algum momento, cuja qual, o paradigma ou teoria vigente não seria mais suficiente para dar conta do problema apresentado. Como já foi descrito na seção anterior, utilizamos a problemática de um ambiente hospitalar caótico e lotado. Desta forma, os alunos, em pequenos grupos, deveriam construir uma maneira de agilizar os atendimentos, criando um método a partir de prontuários antigos. Entretanto, há um paciente que não se encaixa em nenhuma das possíveis relações com as doenças apresentadas. Sendo

assim, buscamos que, ao fim da atividade, o aluno começasse entender que ao longo do curso serão trabalhados assuntos não intuitivos, que partem mais da reflexão, ao invés, da experimentação ou observação imediata.

Para análise da atividade do plantão médico utilizamos os dados provenientes das gravações de vídeo e de áudio, para acompanhar o desenvolvimento e as discussões proporcionadas pela atividade.

Após a separação e explicação da atividade, os alunos começaram a se organizar e delegar as funções dos integrantes do grupo. Desta forma, inicialmente, o grupo focal se preocupou com a quantidade geral de prontuários, ou seja, preocuparam-se com amostragem e com os pacientes que teriam que analisar. É importante frisar que tivemos o cuidado de criar patologias novas ou um pouco diferentes das existentes. Ao fazermos isso, evitamos conclusões imediatas ao relacionar os nomes verdadeiros das doenças com sintomas e aspectos que já estão no imaginário da sociedade. Por isso, em um primeiro contato com os prontuários, os alunos questionam e estranham ou até acham graça nos nomes das doenças:

**A1:** *Goelite vocal que é que isso?*

**A2:** *Especulário Pulmonar que é uma maravilha!* (risos)

Mas imediatamente já começam as conclusões das ideias, além de otimização do processo de análise.

**A2:** *Oh! Repara bem.*

**A3:** *Goelite vocal...* (risos)

**A2:** *Olha só que legal! Os dois caras... As duas pessoas que trabalham com a voz têm Goelite vocal... É meio obvio isso né? Mas enfim.*

**A1:** *É, aqui também, Goelite vocal, cantora.*

**A2:** *Sim. O locutor e atendente de telemarketing têm Goelite vocal.*

**A1:** *Goelite vocal, aqui é professora.*

**A2:** *Viu?* (Risos e sons irreconhecíveis)

**A2:** *Vamos separar por patologia e depois a gente vê como as patologias se encaixam.*

**A1:** *Sim, é uma boa. Vamos separar por patologia.*

Nesse momento fica evidente que, a partir da primeira patologia, os alunos não refletem se há realmente alguma relação concreta entre a doença e a profissão do sujeito. Assim, sem questionar como se pode ter certeza da existência ou não de qualquer correlação, eles seguem usando esta metodologia, pois como a primeira tentativa de explicação já “dá certo”. Ou seja, suas preconcepções orientam e corroboram seus “achados” e, assim, acreditam que individualmente serão capazes de criar sua própria relação para cada patologia específica. Desta

forma, podemos que compreender que neste momento se instaura uma posição indutivista e um “paradigma” explicativo no qual há relações para todas as doenças, a partir da indução de uma única tentativa aparentemente correta. Tal comportamento está intimamente ligado a noção indutivista da ciência (CHALMERS, 1993), visão diametralmente oposta aos referenciais teóricos da ferramenta de design.

Seguindo a atividade, e reforçando o “paradigma” explicativo que construíram, eles começam a ver as profissões e a divisão interna das patologias, em que cada membro do grupo fica responsável por uma delas e, certamente, este irá conseguir encontrar uma relação entre a doença e a profissão do sujeito. É interessante que no processo de criação de relações dentro desse “paradigma” explicativo, surgem caracterizações mais sofisticadas. Ao mesmo tempo, começam a surgir afirmações que transcendem às informações existentes nos prontuários, pois, ao serem alertados que cada prontuário possui um médico responsável, concluem que:

**A1:** *Se a gente considerar que todos os médicos têm a mesma formação no mesmo lugar, eles vão diagnosticar de forma igual, né? Conforme os sintomas.*

**A2:** *É...*

**A1:** *Então eu acho que isso...*

**A2:** *eu acho que isso... não levar isso em consideração.*

**A1:** *Eu acho não precisamos levar o médico em conta.*

Ou seja, não há nada escrito em relação ao médico e sua formação, somente nomes diferentes, indicando profissionais diferentes. Porém, para dar mais coerência e validade ao “paradigma” explicativo que estabeleceram, eles excluem essa informação, pois credenciam a todos os responsáveis as mesmas formação e, portanto, a criação dos prontuários estaria livre de qualquer influência, validado assim a correlação doença-profissão. Seguindo, eles chegam às conclusões:

**A3:** *No Espelheiro pulmonar todos fumam.*

Pausas instantes depois:

**A4:** *Oh, no meu caso, aqui que o tô com a Tinosinotino. Todos que tem Tinosinotino são estressados.*

Nesse processo de generalização surge o paciente que não se adequa à “teoria” explicativa criada pelos estudantes.

**A1:** *Todos com Infarto no miocárdio têm que regular a dieta, exceto o físico, mas ele ainda sim tem que diminuir o refrigerante.*

**A2:** *Então calma aí, nesses prontuários aqui todos tem que regular a dieta e não realizam exercícios físicos.*

**A4** avisa que irá padronizar o Tinosinotino, pois acha que ficará mais fácil para se organizar e pede para os demais anotarem os indicadores das doenças. É interessante que o processo de criação das relações se dá em várias camadas, podendo ser relações básicas ou teorização mais sofisticadas por parte dos alunos. Todavia, como nossa ferramenta trabalha aspectos intimamente ligados ao mundo do aluno ou ao mundo teórico e metodológico que ele cria acerca do conhecimento, faz com ele se sinta presente e atuante durante o processo. Isso pode gerar amplas ações durante as atividades, como, por exemplo, se doar ao máximo para construir uma teoria ou explicação de um evento complexo da ferramenta de design. Com isso, como a ferramenta é fundamentada na teoria kuhniana, essa imersão é esperada desde a condição de fazer parte do “paradigma” (o modelo exploratório criado pelos estudantes) até a crise, quando esse modelo falha.

Esse resultado evidencia que ao criarmos uma atividade fundamentada nas Grandes Teorias, e a estruturamos, consequentemente, a partir de ferramentas adequadas ao nosso nicho e conteúdo, os estudantes podem alcançar exatamente o objetivo desejado pelos criadores da SD. Com essa compreensão, o docente consegue, a partir de ferramentas coesas, se atentar a uma gama de aspectos capazes de proporcionar a repetição da atividade em outros nichos e situações.

Por fim, há outros aspectos que mostram como o uso das ferramentas auxilia e estrutura as atividades. Um deles é a previsão que o aluno, ao criar seu próprio modelo de explicação do evento, seu “paradigma”, fique “preso” a ele e suas limitações, numa alusão à teoria kuhniana acerca do funcionamento das ciências. Desta forma, sua visão está alicerçada no que suas explicações paradigmáticas permitem, e isso ocorrerá em teorias simples ou mais sofisticadas. Isso pode ser observado na fala dos alunos do grupo focal em relação à formação dos médicos e à categorização das informações disponíveis. Além disso, envolto do paradigma, os alunos aumentam o grau de sofisticação da teoria, até fazendo classificações dos hábitos:

**A3:** *Calmante e energético entram como psicotrópicos?*

**A1:** *Calmante e energético não, entram como estimulantes.*

É interessante que o fato que de estarem focados em encontrarem possíveis relações que acabam até se confundindo ou procurando correlações entre as patologias.

**A1:** *Opa A3, acho que seu caso é parecido com o meu.*

**A3:** *Todos fumam?*

**A1:** *Não, mas as pessoas não realizam exercícios físicos né?*

**A3** se atrapalha na resposta entre realiza ou não realiza exercícios físico, então **A1** interrompe:

**A1:** *Qual a maioria?*

**A3:** *Oi?*

**A1:** *Realiza ou não realiza?*

**A3:** *Tá igual, pois dois não realizam, um não tem o dado e o outro realiza.*

Porém **A3** conclui.

**A3:** *Só que aqui, fumou, já era.*

O processo de concretização do paradigma passa pela fortificação dos hábitos que realmente caracterizam a patologia. Portanto, os alunos começam a descartar os sintomas e priorizam os indicadores. Com isso, **A1** exemplifica:

**A1:** *Sim você não precisa dos sintomas, só dos indicadores...Por exemplo aqui ô, eu tô vendo aqui que todos que têm a dieta desregulada e não realizam exercícios físicos geralmente tiveram infarto do miocárdio.*

Seguido de **A4**.

**A4:** *Oh eu marquei aqui, por exemplo pro Tinosinotino. Todos que tem Tinosinotino são estressados...eles são estressados e eles consomem estimulantes.*

Porém **A1** volta a relatar a dificuldade de “encaixar o físico”

**A1:** *Aqui, olha a situação. Oh, fora o físico, todos tem peso relativamente elevado... todos tem o peso relativamente pesado entendeu? Todos têm a dieta desregulada e todos não realizam exercícios físicos. Então eles tiveram infarto (do miocárdio) ok? O físico é uma mera exceção, porque ele realiza exercício físico entendeu?... É... Mas ele toma refrigerante, entendeu?*

O processo de refutação da crise do físico pode ser comparado à ideia equivocada de que as teorias científicas são imutáveis, assim, consideram o físico uma mera exceção. Obviamente que não é o mesmo fenômeno que ocorre no desenvolvimento da Ciência. Mas é preciso ressaltar que, como a ferramenta é estruturada a partir da teoria de Thomas Kuhn, podemos ver a eficácia da atividade ao gerar nos estudantes um comportamento bastante similar ao que ele descreve acerca dos momentos de crise, no qual os cientistas imersos na ciência normal passam a rejeitar os dados que contradizem seu paradigma e passam a tratá-los como anômalos ou exceções (CHALMERS, 1993). Entretanto, eles não o deixam de fora do paradigma, mesmo que admitindo que seja um ponto fora da curva. Ao fazerem isso, não levam em conta a vida saudável do personagem, mas focam somente no consumo de refrigerante, ainda que a informação seja que o personagem bebe refrigerante no almoço de fim de semana. Portanto, atribuem a ela um peso negativo que justifica a patologia do físico, ao invés, de pensar que há algo de errado nas relações.

Continuando a realização da atividade, eles chegam a um acordo de que têm que achar o máximo de indicadores para que na hora de comparar as patologias consigam achar suas especificidades. Eles seguem analisando, discutindo e, muito rapidamente, já começam a gerar suas conclusões. Estas são em relação teoria acerca dos hábitos que levam às patologias e até ao diagnóstico e tratamento para elas.

No geral, **G2**, **G3** e **G4** seguiram a mesma lógica que designa a patologia a partir de uma série de hábitos que, acreditam, estejam a elas correlacionados. Um dos grupos falou que a ideia é fazer uma triagem para que possam dar, diretamente, o diagnóstico.

Um grupo até comenta a partir da pergunta do pesquisador

**P1:** *Deu para relacionar direitinho?*

**G2:** *Deu, mas só teve um cara que deu infarto e a gente considerou erro de desvio padrão. (risos)*

**P1:** *Desvio padrão?*

**G2:** *É porque todos os pacientes tinham... relação a idade... (incompreensível)... só bebe água, faz esportes e tem comportamento alimentar, ele só bebe refri.*

**P1:** *E teve o cara lá?*

**A1:** *Teve, foi o mesmo, foi o físico que bebe refrigerante.*

**P1:** *A idade teve algo a ver?*

**G2:** *Só no infarto.*

**P1:** *Como assim?*

**G2:** *As pessoas que tiveram infarto, exceto o físico, tinha entre 35 a 42 anos de idade.*

Ou seja, todos os grupos foram guiados pelas relações que eles mesmos criaram e, ainda que admitissem a falha em enquadrar o físico em seu modelo explicativo, procuravam uma maneira de inseri-lo, de qualquer maneira, na teoria por eles criada. Em grande parte, fizeram isso atribuindo um caráter pejorativo a um hábito comum do indivíduo, beber refrigerante no almoço de final de semana.

Desta forma, usando essa atividade, a aula seguiu com uma parte expositiva sobre a natureza das ciências, na qual apresentamos as ideias de Kuhn e as relacionamos com o ocorrido na atividade. Com isso, criamos a oportunidade para apresentar e discutir os problemas que levaram à construção da teoria relatividade.

Ao final da primeira aula, apresentamos um dos aspectos menos intuitivo da teoria da relatividade, o paradoxo dos gêmeos. Um assunto que possui um forte apelo emocional, justamente por ser tão contraintuitivo, e que é frequentemente utilizado em alguns filmes *sci-fi*. Além disso, preservando o fenômeno físico que ocorre no problema, é possível usarmos

diferentes roupagens para o paradoxo. No nosso caso, utilizamos a ideia que uma astronauta viaja para o espaço, com um colega de missão, um dia após ela ficar grávida do seu marido. Passados quatro anos para o referencial do marido, a nave chega à Terra, saindo dela a esposa, o colega de missão e uma criança de dois anos de idade. A pergunta que fizemos foi: *a criança pode ser filha de quem? Ou melhor, a criança é sua filha?*

A apresentação desse paradoxo na primeira aula, antes de todo conhecimento necessário para desenvolver matematicamente e fisicamente a situação, é justificado pela ferramenta crise complexa, que originou a atividade. Assim, seguindo o objetivo da aula, que é debater o indutivismo, precisávamos de uma situação capaz de proporcionar uma "quebra de paradigma" e, ao mesmo tempo, ser possível aprender a partir do complexo.

Assim, o debate inicial, obviamente, parte para uma frente biológica, ligada ao teste de paternidade. Todavia, buscamos evitar isso, pois, ainda que seja uma ferramenta que daria a resposta certa, a ideia é discutir a situação em que uma criança de dois anos é sua filha, mesmo você engravidando sua esposa a 4 anos antes. O professor questiona, mas vocês acham possível isso acontecer? Vocês acreditam que o tempo passe diferente para duas pessoas? Assim seguimos o debate, guiando para reflexão do fenômeno, até que:

**A1:** *Sei lá... você poderia fazer uma experiência da luz para saber se a idade da criança é a correspondente.*

Começam a tentar refletir e desvendar o problema relacionando com a velocidade. Professor comenta que não deve achar uma explicação mirabolante, pois está dentro de uma aula de física, ele questiona, e se fosse você? Esse filho é seu ou não? Novamente perguntados em relação a diferença de tempo para duas pessoas. Alguns alunos falam que sim. Um aluno relata que já fizeram um experimento para mostrar isso utilizando um avião supersônico (**A1**). Outra aluna aponta para necessidade de ficar ajustando os horários dos satélites que estão no espaço e outro aluno completa relacionando a velocidade de órbita.

**A2:** *Não sei também, o fato de ficar ajustando os horários dos satélites que eles sempre dão uma atrasada em relação ao relógio das pessoas que estão na Terra.*

**P1:** *O poderia ser um defeito?*

**A2:** *É acontece com tudo e já mandaram um relógio atômico pro espaço e dá o mesmo problema.*

**P2:** *Será que o tempo “atrasa pro átomo do relógio atômico?”*

Outro aluno afirma que a marcação é mais precisa.

**P2:** *Sim, mas tem um relógio atômico e um normal, você está me dizendo que devido a velocidade for alta esse relógio (normal) atrasa? O relógio atômico também atrasa?*



Alguns dizem sim

**A1:** *É estranho pensar nisso, mas eu acho que sim também.*

**A4:** *Acho que não. Porque até então no sistema internacional eles usaram a medida...(incompreensível) ...do Césio como a medida que poderia ser utilizada e gerenciada em qualquer local do universo*

**A1:** *É qualquer local, mas em qualquer velocidade?*

Nesse momento eles começam a falar ao mesmo tempo, com falas sobrepostas, mas, ainda assim, é possível entender que eles se remetem que algo está relacionado à velocidade. Ou seja, aqui podemos ver que o teste de paternidade não é mais a única solução, e os alunos acreditam há uma explicação física para o fenômeno. Essa é uma evidência da influência da ferramenta na atividade, pois o objetivo era, justamente criar uma situação para o questionamento acerca da noção de tempo no mundo cotidiano, na busca por uma "quebra de paradigma", de maneira similar àquela apontada por Kuhn sobre a Teoria da Relatividade (KUHN, 1987). Inicialmente, os alunos começam a tentar criar explicações para se manterem dentro do paradigma clássico, com a visão cotidiana de tempo. Afinal, mesmo acreditando que o tempo possa ser diferente, creditam isso a erros de contagem e/ou efeitos clássicos.

**A3:** *é qualquer lugar, o problema é a comparação entre dois referenciais.*

**A1:** *é a mesma coisa que o professor perguntou. Porque tipo, é exatamente isso, elevai ter a mesma emissão radiativa em qualquer lugar do universo, mas em qualquer velocidade? Eu fico confuso.*

Um pouco mais de discussão acerca da problemática e surge que a resposta para o problema seja um possível efeito causado por um buraco negro. O professor, então, pergunta qual é essa relação e os alunos explicam que o efeito da mudança na passagem do tempo pode ser por causa velocidade, mas pode ser por efeitos causados por um buraco negro. Interrompido por **A5**:

**A5:** *Ele quer dizer que é um conceito impuro (?), velocidade com qualquer lugar do tempo. (em relação à medida do césio)*

**A6:** *O que eu quero dizer é que se vale para um, vale para outro.*

**A5:** *Se bem que é sistema internacional não sistema universal. (Brinca ao relacionar a medição do césio)*

**A7:** *Conheço uma raça de alienígenas que não concordam.*

Tal interação entre os alunos mostra que a ferramenta utilizada cumpre o seu papel ao criar uma atividade que leva os alunos, ainda que de forma inicial, a questionar os limites de validade das teorias científicas. A atividade cria diferentes oportunidades que podem ser

aproveitadas por um professor que deseje discutir a natureza da ciência e o fazer científico de uma maneira bastante rica e com um alto nível de engajamento. Consciente que esses momentos surgirão, justamente por estarem no fundamento da ferramenta que originou a atividade, é possível se discutir a ciência como produção humana, questionar se a lei física que vale na terra deveria valer em todo o universo, se isso é realmente possível, por que deveria ser assim e, principalmente, como temos certeza de que é assim mesmo. Ou seja, essa é mais uma evidência de que a Grande Teoria que embasou a construção da ferramenta cumpre seu papel e cria momentos imprescindíveis para o ensino de ciências.

O professor retoma a reflexão e faz uma síntese do que discutiram até o momento sobre o paradoxo e que a prova cabal para o problema a posto é o exame de DNA. Todavia, as relações das respostas, que envolvem velocidade, indicam que alguns alunos têm alguma noção dos efeitos relativísticos para esse paradoxo. Entretanto, mesmo com essas vagas noções, muitos que aceitam as diferentes passagens de tempo não compreendem a importância da dilatação temporal e suas consequências. Assim, embora ainda incipientemente em relação aos conceitos, a situação apresentada na atividade permite avaliar as concepções que os alunos possuem sobre o tema:

**P2:** *Sem entender a relatividade, falam com naturalidade que o tempo dilata.*

**P2:** *A implicação disso é que você está cegamente falando algo totalmente contra intuitivo, pois no nosso dia a dia isso não acontece.*

Uma das primeiras hipóteses que tínhamos acerca dessa atividade era que os alunos poderiam na primeira tentativa, de certo modo, conseguir aceitar o efeito da medição de diferentes tempos por ser um fenômeno recorrente na ficção científica. Contudo, fariam isso sem compreender, de fato, a real natureza do efeito relativístico. Como vimos, durante a realização da atividade, essa hipótese se confirmou a aceitação dos tempos diferentes por meio de erros nos relógios. Contudo, precisávamos que o fenômeno da dilatação temporal fosse não só aceito, mas compreendido. Ou seja, queríamos que os estudantes pudessem realmente conhecer e entender um outro significado para o tempo que não está ligado a erros de medida e que, tratando-se de um fenômeno conhecido como relativístico, não fosse explicado com frases soltas e aleatórias como “efeitos dos buracos negros”. Nosso objetivo era, assim, permitir a compreensão e a apropriação dos conceitos, vocabulário e forma de pensar da dimensão relativística.

Ao final da atividade, os alunos conseguem concluir que a velocidade da viagem, de fato, teve influência na passagem do tempo. Porém, o professor explica que o intuito é compreender de maneira profunda os conceitos para que não sejam somente uma mera repetição

de um discurso que eles não compreendem. Isso porque mesmo que atrelem, de alguma maneira, a dilatação temporal à velocidade, eles o fazem como uma repetição de uma ideia que já está pronta e que é aceita de uma maneira muito simplória, sem reflexão e, principalmente, sem o aporte do conhecimento físico-matemático que se espera que futuros professores tenham. Por fim, nesse momento, não apresentamos a explicação final para o fenômeno, mas discutimos alguns pontos e deixamos claro para os alunos que durante o curso eles teriam a resposta ao fenômeno por meio da compreensão do que estava, de fato, ocorrendo.

Nossas atividades tinham como principal objetivo apresentar os maiores pilares das conhecimento físico presente na teoria da relatividade de uma maneira que não fosse meramente informativa. Pelo contrário, partimos de Grandes Teorias e Teorias intermediárias para construir ferramentas de design que permitissem a construção de atividades que tivessem um bom potencial de ensino. Portanto, é imprescindível que um desses conhecimentos a serem abordados seja a noção concreta de evento, conceito central para o entendimento da teoria de Einstein. Com isso, criamos uma atividade que permite trabalhar os diversos significados do signo *Evento*, a atividade: *O professor eventual*. Para sua criação, utilizamos a ferramenta de design *Multidimensões*. A partir dela, fizemos uso de dois textos, um produzido por nós e pilar de toda a atividade, e outro, um artigo científico usado após a discussão, que trabalhava de modo sucinto o significado de evento que gostaríamos de apresentar aos alunos.

O objetivo era que os alunos conseguissem, a partir dos textos, entender o conceito de evento e a necessidade de sua caracterização. A atividade, então, começa de maneira metafórica, focando na relação do professor eventual e sua caracterização como um docente. Desta forma, o papel dos estudantes era, de alguma forma, ajudar o professor eventual a eliminar a sua angústia compreendendo seu papel no mundo.

**A1:** *Vamos mergulhar no mar da loucura.*

**A2:** *Ele transmite o conhecimento...*

**A1:** *Mas, o que acontece, para mim ficou meio confuso no começo porque assim, deu para entender que fatalmente esse cara é um cara frustrado.*

**A2:** *Sim, tá aqui, ele não queria ser professor, ele tentou ser médico tentou ser astronauta.*

**A1:** *Não tudo bem, tentou tudo. Só o que acontece, nenhum dos livros que ele leu, por exemplo o do Carl Sagan, eu entendi sobre evidência científica. Sobre um fato que você controla ele, independentemente de você estar vendo ou não aquilo lá vai acontecer, foi isso que eu tirei daqui... independe... se você interferir ou não... Agora esse eu não entendi não, ficou um pouco difícil de entender e porquê.*

**A2** entende a questão, embora não seja simples.

**A2:** *É um texto tentando explicar o que essa parte da palavra significa.*

**A1:** *Nossa é difícil.*

**A1:** *Peraí, essa pergunta cabe em uma reflexão... cabe uma pequena reflexão a mais... ele é professor eventual de característica por que denominado ele ser eventual, agora ser professor sempre, não é uma característica que eu vou dar, naquele momento, entende?*

**A2:** *A dúvida dele é se ele é professor sempre que ele entra na sala de aula ou não.*

**A1:** *sim, dentro ou fora da sala de aula, eu creio que sim.*

**A2:** *eu acho que para mim, se ele só é professor quando entra sala de aula...*

**A3:** *Não, ele só é professor quando entra na sala de aula, então todo mundo é professor eventual.*

Os alunos começam a falar dos vínculos do professor e outras características gerais de um docente, mas em um âmbito contrário à ideia da atividade, tanto que, nesse momento, o professor parceiro teve de intervir e fazer uma mediação para nortear o grupo novamente para o objetivo da atividade. Eles perceberam que havia no texto uma relação entre a compreensão do que seja um evento com a possibilidade de diminuir a angústia do professor. Com isso, continuam a discussão acerca do problema.

Apesar de chegarem perto de algumas conclusões, a pergunta sobre a caracterização é uma dificuldade enfrentada, tal qual, a própria definição de evento. Isso pode estar relacionado a dois motivos, o primeiro é o fato que os alunos do curso são licenciandos, ou seja, o viés da formação leva-os a encarar a situação com olhares docentes da carreira (ou admiração pela futura formação). Ademais, o outro fator se dá pelas diferentes dimensões que estão sendo apresentadas para a palavra evento. Por conseguinte, ficam à mercê de conclusões que são feitas sob aspectos dos significados que eles já possuem para o signo evento, mostrando como esses significados podem estar em conflito, eles percebem que a solução é o domínio de uma nova dimensão (para um novo significado) ao mesmo signo.

**A3:** *Se a gente afirma que ele é professor sempre...*

**A1:** *Mas o fato não é só amar, em si, pelo fato de estar incomodado com a situação ele vai afundo pesquisar o que aquilo significa porque aquilo é chamado de professor eventual, ele vai em busca do conhecimento.*

**A2:** *O que caracteriza com professor eventual ou como professor?*

**A3:** *como professor, porque ai se você caracteriza o professor, você caracteriza o professor eventual.*

**A2**, faz uma pergunta chave, demonstrando que ele começa perceber a necessidade de caracterização. Ademais, junto a **A3**, eles entendem que somente assim serão capazes de separar os termos para melhor compreendê-los. Ou seja, para compreender o professor eventual em relação ao professor (ao invés de caracterizar o que é eventual), o aluno mostra que o processo de significação de um novo significado (ou dimensão) passa por um momento de organização dos significados atuais para o salto para um novo significado (ou dimensão).

**A2:** *Transmite conhecimento através de um livro?*

**A3:** *Isso é bem vago.*

**A3:** *O que ficou claro para mim lendo o texto é que ele se identifica como professor, mesmo que chame ele de professor eventual. E isso, tipo, o termo eventual para ele.*

**A1:** *Não significa nada.*

**A3:** *Não, significa, tipo, faz mal para ele, é muito pejorativo, mas mesmo assim ele se identifica como professor, não importa se ele está dando aula ou se ele não está. Mas o que caracteriza isso?*

A partir desses momentos, eles começam a pensar o que levou o professor eventual a escolher ser professor, até tentam pensar o que caracteriza outras profissões.

De maneira geral, todos os grupos tiveram dificuldades para responder à questão pensando na ideia do evento e sua caracterização. Entretanto, devido a uma citação de Carl Sagan presente no texto “professor eventual”, todos eles, de certa forma, seguiram a mesma intuição: o professor eventual é sempre um professor.

Ainda no âmbito geral, mesmo com dificuldades de caracterizar o profissional *professor*, as discussões caminharam para uma visão mais pedagógica da função docente e não para o que basicamente um professor faz, ou o que faz uma pessoa que atua como professor. Ao analisarmos o debate da sala como um todo surgem momentos como o abaixo:

**G2:** *O que caracteriza um professor, não é, necessariamente, dar aula, mas é pensar como um professor, saber a teoria, função dele como agente escolar, a relação entre professor aluno, processo de ensino-aprendizagem... a gente fez uma distinção. Quando a gente entra no curso, a gente fala “ele saiu uma pessoa diferente porque ele se tornou professor” mesmo que ele não exerça isso dentro da sala de aula dele.*

**P1:** *O cara que se formou em direito, ele nunca advoga, ele é advogado? O cara se formou em medicina, mas ele nunca falou com o paciente, é um médico?*

Os alunos ficam sem resposta.

**A1:** *Sobre o que caracteriza ele ser professor, a gente chegou à conclusão que é esse amar a profissão, sobre esse fato de se incomodar com coisas que talvez para a população seja*

*algo simples, como uma palavra, talvez muitos que estão em sala de aula, eventualmente falando, eles não se importem com a palavra eventual, não se incomodem com isso, estão lá por mecanicismos mesmo, não porque sente, porque vive, porque quer sentir a profissão de uma maneira como um todo.*

**P1:** *Essa definição vale para um lixeiro?*

**A3:** *Para quem?*

**P1:** *O lixeiro, não é uma profissão?*

**A3:** *Não sei, tem que perguntar para um lixeiro. Assim, a gente caracteriza que...uma das características da profissão professor é amar a profissão, se não você está lá meio que...*

**P1:** *Mas essa característica não necessariamente é para todas as profissões?*

**A3:** *É, não vale para todas, é uma das (características).*

**G3:** *Independente da profissão, você começa amar ela quando você entende a função dela e a importância, então acho que não dá para caracterizar assim como professor ser ele fundamental amar a profissão, porque eu já tive muitos professores que não queriam dar aula, mas mesmo assim se caracterizavam professor.*

**P1:** *Então eu tenho outra pergunta, vocês já tiveram professores bons? Espero eu.*

**Todos:** *Sim.*

**P1:** *Vocês acham que todos os professores bons que vocês já tiveram amavam a profissão e queriam perdidamente estar ali?*

**A3:** *Não, mas acho que dentro do texto essa ideia encaixa com visão de professor eventual.*

Os alunos concordaram que a questão era complexa, mas que precisavam de uma caracterização. Desta forma, discutimos um pouco a função docente e até conceitos de formação de professores e a diferenciação de outras formações. Porém, como o objetivo da atividade era compreendermos o evento a partir de discussões geradas pela palavra eventual, voltamos a nortear a discussão para necessidade de caracterização do evento. Assim, partindo da ideia mais simplista da profissão:

**P2:** *Sem juízo de valor, o que é um professor?*

**Alguns:** *Quem dá aula.*

**P2:** *Sem juízo de valor, o que é um professor eventual?*

**Alguns:** *Quem dá aula eventualmente.*

**P2:** *Então, o que é um evento?*

**A2:** *Uma coisa que acontece esporadicamente.*

**A1:** *Que pode ou não acontecer.*

Assim, começamos a trabalhar a ideia de caracterização de evento e a relação com o texto trabalhado. Após alguns minutos chegamos a pontos cruciais para conexão das diferentes dimensões acerca do signo evento e sua necessidade de caracterização:

**P2:** *Se ninguém escutar a árvore caindo, a árvore caiu?*

**Todos:** *Caiu.*

**P2:** *Se ninguém nunca assistir a aula do professor, ele deu aula?*

**G3:** *Não.*

**G3:** *Sem juízo de valor, deu. (risos)*

**A1:** *Evento sei lá, pensando da maneira mais simples possível, é algo que simplesmente acontece? Seria isso?*

**A3:** *Acontece independente se a gente vê ou não.*

**P2:** *Tem relação com ação que conseguimos caracterizar... pra ser uma aula tem que ter 25% de presença e um professor, beleza? Aí eu chego e não teve 25% de presença foi uma aula?*

**A3:** *Não.*

**P2:** *Então não foi um evento.*

**P1:** *Então não foi o evento dar aula. Porque o evento dar aula é uma coisa que acontece localizada em lugar, durante algum tempo, que a gente consegue caracterizar de alguma forma. Então o que é o professor eventual?*

**A2:** *Não faz sentido porque todo professor é eventual.*

**A3:** *É, se for assim, todo professor é eventual.*

**P2:** *A diferença é que é um professor que vive de eventos...*

**P1:** *O professor no sentido do texto, que é a grande questão do João, um professor que é professor, ele dá aula continuamente, certo? O professor eventual, é o que dá aula eventualmente, ele dá uma aula lá, pronto e acabou, volta depois de não sei quanto tempo, da outra aula, então ele vive de eventos. Qual o evento? Dar aula. O professor que é professor pro João, no contexto dele, é o professor que não vive de eventos pontuais.*

Desta forma, sintetizamos as discussões geradas a partir da atividade e introduzimos a ideia central da dimensão do evento para relatividade, que o entende como toda ação ou fenômeno que ocorre em um ponto no espaço-tempo. Para esse *evento* há medidas  $x$ ;  $y$ ;  $z$ ;  $t$ . Estas, por sua vez, estão ligadas intrinsecamente ao referencial. Ou seja, esse fenômeno observado apresenta sua caracterização por meio de coordenadas  $(x; y; z; t)$ . Desta forma, embora o evento seja o mesmo, as medidas variam em relação a referenciais diferentes. A partir disso, a parte seguinte da aula iniciamos a discussão acerca da relação de Lorentz com a

relatividade e como a noção de evento, agora dentro dessa nova dimensão, é fundamental para a compreensão do conteúdo.

Nossa análise permite evidenciar que, com o uso das ferramentas de design como estruturantes das atividades, a aplicação do curso seguiu uma linha de ação previamente traçada por nós. Portanto, sempre que produzíamos uma atividade para o tratamento de um signo, de um conceito, buscamos a possibilidade de produção de um novo significado, oriundo da dimensão relativística. E isso só foi possível a partir do uso da ferramenta de design *Multidimensões*, que nos dava a segurança teórica sobre as formas de se alcançar o objetivo almejado. Assim, quando queríamos trabalhar temas como tempo ou espaço pela primeira vez, optamos por criar atividades com o objetivo de produzir um processo de ressignificação desses temas, agora adequados à teoria da relatividade. Porém, para introdução dessa nova dimensão de maneira não impositiva ou meramente mecânica, nos orientamos a partir de *Grandes Teorias*, psicológicas e epistemológicas. Com isso, foi possível promover as reflexões necessárias para que houvesse a compreensão, de fato, das diferenças entre as dimensões clássica, cotidiana e relativística destes temas. Assim, criamos momentos ideais para chocar os diferentes modelos explicativos, como, de maneira metafórica, a geração de uma crise no paradigma dos alunos, para que tivéssemos situações complexas capazes de serem o ponto de partida para a aprendizagem desses conceitos. Portanto, o processo de ressignificação para dimensão relativística destes temas está calcado na quebra dos paradigmas clássicos e cotidianos.

Ao idealizarmos o curso, um dos objetivos era que os alunos pudessem compreender os reais efeitos da relatividade e suas implicações na interpretação do universo. Desta forma, uma das urgências era promover o entendimento dos fenômenos da dilatação do espaço, mas, principalmente, as diferentes medidas que dois referenciais podem ter para os mesmos eventos. Com isso, deveríamos criar uma atividade capaz de introduzir o aluno na dimensão relativística, ou seja, adicionar um novo significado ao tempo, diferente da seta temporal usada na física clássica e da noção de contagem, datas e envelhecimento do dia-a-dia.

Ao adicionarmos um novo significado ao signo tempo, intrinsecamente, proporcionamos uma situação muito complexa, pois, estamos trabalhando diretamente temas triviais, até então, do nosso universo e do cotidiano. Por conseguinte, a ressignificação do tempo causada pela relatividade gerou uma ruptura profunda no pensamento humano, ou seja, um dos melhores exemplos da quebra de paradigma proposta por Kuhn e, não por acaso, discutida em sua obra (KUHN, 1987). Desta forma, acreditamos que seria possível iniciar o processo de aprendizagem que almejávamos com a SD.



A atividade “*Que horas são?*” foi dividida em dois módulos. O primeiro, introdutório, trabalhamos com a noção individual dos estudantes para passagem de tempo. Com isso, utilizamos duas tarefas que eram antagônicas, participação em uma gincana (algo que não perceberiam a passagem do tempo) e a leitura da constituição (algo monótono).

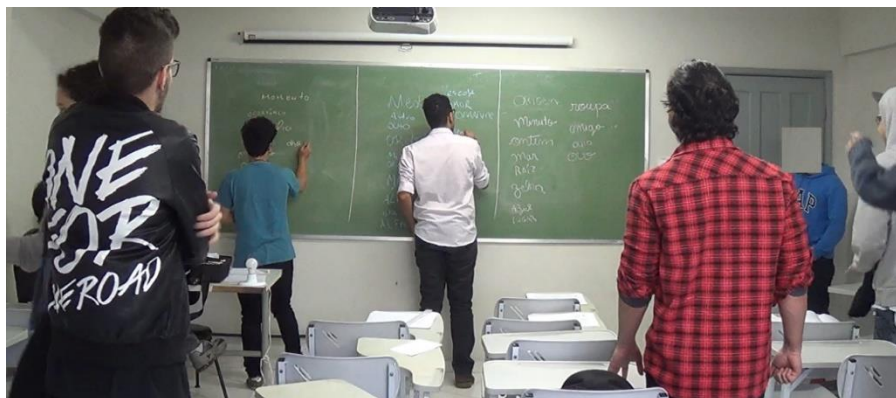


Figura 48 - Demonstração da dinâmica "divertida"

Neste módulo da atividade pedimos para os alunos tabelarem seus tempos de realização da tarefa e classificarem a atividade em relação à qualidade, no sentido de envolvimento e prazer. Ao final, os alunos produziram a tabela abaixo

<b>Aluno</b>	<b>Tempo que desenvolveu a atividade divertida</b>	<b>Classificação de qualidade da atividade</b>	<b>Tempo que desenvolveu a atividade monótona</b>	<b>Classificação de qualidade da atividade</b>
1	3min 30s	8	5 minutos	3
3	5min 60s	6	3min 20s	5
4	2min 10s	9	3 minutos	2
5	3min 20s	7	5min 10s	7
6	5 minutos	9	5min 20s	1
7	5min 10s	-	3min 10s	5
8	3min 15s	8	3 minutos	3
9	3min 20s	8	3 minutos	3

Tabela 17 - Estimativas de intervalo de tempo dos alunos.

A partir dos resultados obtidos nesse módulo, com os dados tabelados na lousa, discutimos a medição do tempo. Fizemos uma reflexão sobre as medidas subjetivas de

percepção da passagem temporal e quais aspectos, como os afetos, podem interferir nessa medição. As discussões dessa parte da atividade também nos permitiram trabalhar a precisão dos relógios na medição temporal.

Para o segundo módulo, focamos a medição de tempo para os mesmos eventos em referenciais diferentes. Entender esse fenômeno de maneira profunda não é nem um pouco trivial, pelo contrário, é um processo árduo de reflexão acerca de seus significados físicos. Provavelmente, grande parte dessa complexidade está ligada à pouca familiaridade com esse fenômeno, não observado no mundo clássico. Por isso, necessitávamos de uma atividade na qual a dimensão relativística pudesse ser mais bem compreendida, ao mesmo tempo que se tornasse o mais concreta possível para os estudantes. Dessa forma, buscamos a criação de nosso próprio relógio de luz. As imagens a seguir são do relógio de luz parado.



Figura 49 - Demonstração relógio de luz em repouso.



Figura 50 - Captação de fotos do relógio de luz

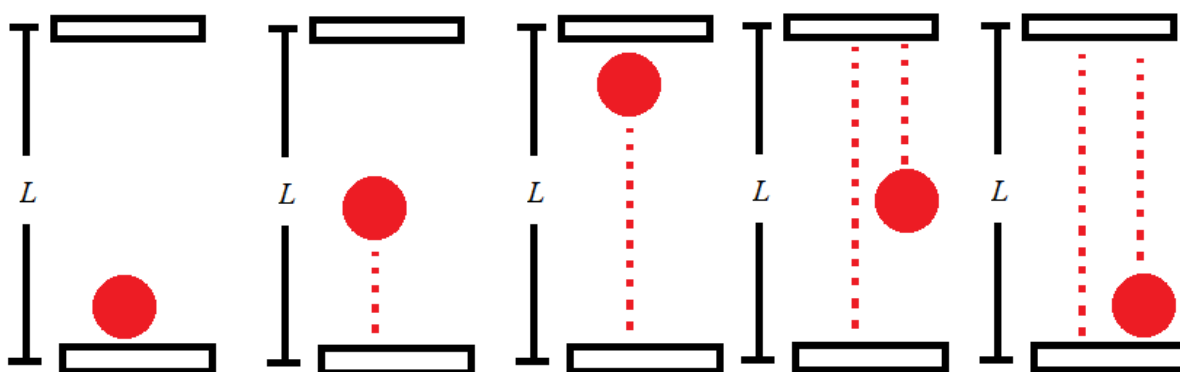


Figura 51 - Ilustração da luz, no relógio de luz, parado, deslocando  $2L$ .

Nesse momento, pela física clássica, os alunos, em sua totalidade, conseguiram compreender e observar o fenômeno. Assim, ao calcularmos o tempo medido entre a emissão e retorno da luz ao ponto de emissão, para o referencial parado, temos  $\Delta t_p = \frac{2L}{c}$ , em que  $L$  é a distância entre as paredes dos espelhos que possui a emissão orientada no eixo y.

O próximo passo era criar o mesmo relógio que se deslocava, por meio de um skate, desloca no eixo x (relação a porta da sala).



Figura 52 - Demonstração do relógio de luz em movimento relativo à sala.

Para o ponto de vista dos alunos o deslocamento ocorreu no sentido negativo de eixo x, enquanto a luz variava no eixo y. Desta forma, obtemos a relação de imagens a seguir:



Figura 53 - Compilado de fotos do deslocamento do relógio de luz

Com isso, ao tentarmos produzir a trajetória do descolamento da luz, obtivemos para nosso relógio:

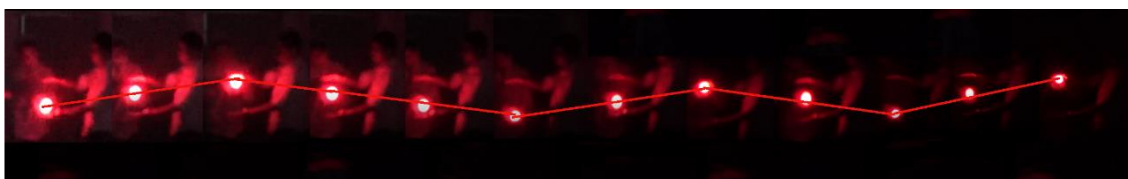


Figura 54 - Trajetória da luz no relógio de luz

Feito isso, começamos a calcular a medição do tempo para esse relógio. O que se espera é que seja a mesma que  $\Delta t_p$ . Assim, adotando que a distância que a luz anda é  $d$ , e  $\Delta t_p$  é tempo medido pelo relógio em repouso e  $\Delta t_a$  é o tempo medido pelo relógio em movimento. Calculamos que:

$$\text{Se } d = 2\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}; \quad \Delta t_a = \frac{d}{v'}; \quad \text{onde } v'^2 \text{ é } v'^2 = c^2 + v^2. \text{ Temos } \Delta t_a = \frac{\left(2\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}\right)}{v'}. \text{ Assim, realizando os cálculos: } \Delta t_a^2 = \frac{(2)^2 \left(\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}\right)^2}{v'^2} \rightarrow \Delta t_a^2 =$$

$$\frac{(2)^2(L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2)}{v'^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2 + v^2\Delta t_a^2}{v'^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2 + v^2\Delta t_a^2}{c^2 + v^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{\Delta t_a^2}{c^2 + v^2} \left(\frac{4L^2}{\Delta t_a^2} + v^2\right) 1 =$$

$$\frac{1}{c^2 + v^2} \left(\frac{4L^2}{\Delta t_a^2} + v^2\right) \rightarrow c^2 + v^2 = \frac{4L^2}{\Delta t_a^2} + v^2 \rightarrow c^2 + v^2 - v^2 = \frac{4L^2}{\Delta t_a^2} \rightarrow c^2 = \frac{4L^2}{\Delta t_a^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2}{c^2}$$

$$\rightarrow \Delta t_a = \frac{2L}{c}$$

Desta forma, analisando o resultado da equação do relógio em repouso,  $\Delta t_a = \Delta t_p$ .

**P2:** *Fica agradável aos olhos os tempos ficarem iguais? (risos)*

**A1:** *É a lógica.*

**A2:** *Tranquilo.*

**P2:** *Só tem um pequeníssimo problema? O P1 falou para vocês hoje um negócio sobre a velocidade da luz.*

Um ponto de suma importância é que os alunos já conheciam parte das equações de Lorentz e o problema do Éter, no qual o fator gama era um ente matemático introduzido arbitrariamente aos cálculos. Portanto, P2 se refere ao fato deles já terem visto os problemas na detecção do éter e o indício que a velocidade da luz é constante.

**A3:** *Os experimentos indicavam que ela era invariável.*

**P2:** *Ou seja, não podia usar  $v'^2 = c^2 + v^2$*

**P1:** *Por que não? Vocês conseguem entender?*

**A4:** *Porque se isolar o c, a luz depende de v.*

**P1:** *Exatamente, vai depender da velocidade da fonte.*

Dessa forma, começamos a pensar como os postulados da relatividade afetam a compreensão da natureza. Além disso, é importante salientar que nesse ponto destacamos que para física clássica,  $\Delta t_a = \Delta t_p$  é aceitável. O que é interessante, é o fato de os alunos ainda estarem na dimensão clássica, em nenhum momento questionarem  $v'^2 = c^2 + v^2$ . Ademais, aceitam com muita naturalidade  $\Delta t_a = \Delta t_p$ , e isso evidencia com qual dimensão estão significando o tempo.

Outro fator constatado é que essa naturalidade é reflexo do que evidenciamos na primeira atividade do paradoxo dos gêmeos. Ou seja, o fato de aceitarem que o tempo é diferente e tentarem relacionar isso com uma velocidade, não é mencionado quando damos o tratamento matemático ao tempo. Isso, ao final, vai de encontro com as afirmações dos próprios alunos. Ou seja, nas discussões do paradoxo dos gêmeos, eles relatam que o relógio atômico seria mais preciso, mas que a velocidade poderia influenciar. Porém, agora, quando utilizamos um relógio preciso também, o relógio de luz, a relação ligada à velocidade de outro referencial não é mencionada e sequer notada. Pelo contrário, os estudantes aceitam as medidas iguais para

dois referenciais em movimento relativo. Assim, o fato de, na primeira atividade, afirmarem que é possível se obter medidas de tempo diferentes mostra que isso está relacionado a uma mera repetição de um discurso já ouvido anteriormente, e não à uma compreensão da natureza do fenômeno da dilatação do tempo.

Agora, se  $d = 2\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}$  e  $\Delta t_a = \frac{d}{c}$ , temos  $\Delta t_a = \frac{\left(2\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}\right)}{c}$ . Assim, realizando os cálculos:  $\Delta t_a^2 = \frac{(2)^2 \left(\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2}\right)^2}{c^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{(2)^2 \left(L^2 + \left(\frac{v\Delta t_a}{2}\right)^2\right)}{c^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2 + v^2\Delta t_a^2}{c^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2 + v^2\Delta t_a^2}{c^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{\Delta t_a^2}{c^2} (4L^2 + v^2) \rightarrow 1 = \frac{1}{c^2} (4L^2 + v^2) \rightarrow c^2 = \frac{4L^2}{\Delta t_a^2} + v^2 \rightarrow c^2 - v^2 = \frac{4L^2}{\Delta t_a^2} \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2}{c^2 - v^2}$  como  $c^2 - v^2 = c^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \rightarrow \Delta t_a^2 = \frac{4L^2}{c^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \rightarrow \Delta t_a = \frac{\frac{2L}{c \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{\Delta t_p = \frac{2L}{c}}$  e  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , logo  $\Delta t_a = \Delta t_p \cdot \gamma$

Agora, os alunos são perguntados para qual relógio a medida de tempo é maior?

A4: *para  $\Delta t_a$*

P2: *É o mesmo relógio? O que aconteceu?*

A3: *Um estava se movendo e outro não.*

P1: *Sim, eles têm movimento relativo.*

Além disso, como os alunos já tinham visto em outro momento, gama não é uma medida relacionada à distância, mas atrelado ao tempo para esse caso.

P1: *Quem está andando com o relógio vai dizer um tempo, quem está parado em relação ao relógio vai dizer outro tempo, concordam? Quem está certo?*

A1: *Os dois.*

P1: *Existe só uma medida de tempo?*

**Alunos:** *Não.*

P1: *A gente falou de buraco negro até agora? Interestelar?*

**Alunos:** *Não.*

P1: *O que mudou da mecânica clássica para agora?*

A4: *A velocidade da luz.*

Então os alunos são apresentados a um novo significado do tempo, além disso, agora, o tempo não mais absoluto. Assim, por ora, todas as teorias que o consideravam absoluto estão em crise. Agora, partimos desse ponto para começar a trabalhar as transformações de Lorentz e as medidas dos referenciais.

Criamos a atividade Marco zero com o uso da ferramenta *Multidimensões* que trabalha uns outros conceitos fundamentais da relatividade: o signo espaço. Essa atividade é um ponto introdutório para a discussão acerca das diferentes medidas do espaço para referenciais relativos e como é possível que isso ocorra. Inicialmente, a diferença na medida para dois referenciais é mais aceita e compreendida, em grande parte, devido a herança dos princípios de Galileu. Ou seja, uma compreensão do espaço por uma dimensão da física clássica. Além disso, há uma compreensão de espaço na dimensão cotidiana que está ligada a ideia de lugar, local aonde as coisas acontecem ou até mesclada com noção de volume devido a frase “dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo”.

Criamos uma atividade que tinha como objetivo principal confrontar as medidas de espaço. Desta forma, utilizamos dois bastões que simulavam os eixos referenciais  $z$ , junto a eles, fitas métricas que seriam os eixos  $y$  e  $x$ . Fizemos uma série de comandos diferentes para cada referencial, com o intuito de obter medidas diferentes para os mesmos eventos. Assim, quando um se deslocava, o outro permanecia em repouso, ao mesmo tempo, que um evento acontecia. Por conseguinte, outro evento ocorria, e aquele que estava em repouso anteriormente, agora, se deslocava de uma maneira diferente em relação ao outro grupo.



Figura 55 - Alunos realizando a atividade Marco zero.

Ao final, os estudantes apresentaram medições espaciais diferentes (em relação aos dois grupos), como era esperado. É interessante que, ao mesmo tempo que utilizamos essa atividade para criar uma possibilidade de inserção de uma outra dimensão para do espaço, aproveitamos para fortificar a necessidade de caracterização de um evento. Por fim, após a discussão dos porquês das medições diferentes do espaço na sala e a relação dessa atividade com a teoria de Einstein, seguimos a aula realizando outro paradoxo da relatividade que envolvia diferentes tamanhos de um trem e uma garagem.

Já com as novas dimensões dos signos espaço e tempo trabalhados, pudemos começar a explorar cada vez mais seus efeitos e implicações. Uma das principais é a noção de simultaneidade. Assim, por meio de uma atividade em que aluno era um assassino relativístico,

ele deve refletir se, mesmo em dois referenciais, os eventos se manteriam. Com isso, devido número de alunos presentes, tivemos que fazer a atividade em duplas, dessa forma, tanto as questões, quantos discussões e resolução do problema foram feitas por um número pequeno de alunos. É importante salientar que essa atividade de objetivo proporcionar uma crise na noção de simultaneidade e distância espacial entre eventos, pois, ainda que o aluno possa ter compreendido os processos de compressão temporal e dilatação espacial, não é garantido que ele possa compreender as implicações desses conceitos.

Assim, ao adotamos os referenciais 1 como mundo do atirador (A), referencial 2 do mundo do micro-ônibus (MB) e os eventos como  $E_1 \rightarrow$  Bala da arma da esquerda crava o micro-ônibus e  $E_2 \rightarrow$  Bala da arma da direita crava o micro-ônibus. Desta forma, antes da resolução fizemos uma pequena discussão sobre o que os alunos esperavam:

**P2:** *Quantas você mortes causará?*

**A1:** *Duas. Na verdade, depende também porque a bala pode atravessar.*

**P2:** *Quantas mortes você irá ver?*

**A1:** *Depende, depende da velocidade do ônibus, da minha posição em relação ao ônibus e da velocidade da bala.*

**A2:** *Duas mortes se dessem certo e só veria uma.*

**P1:** *Por quê?*

**A2:** *Porque estaria no mesmo espaço. Igual estava na última aula que você só veria uma pessoa na face do ônibus. (aluno confunde a relação de visão, achando que seria uma visão de frente para o ônibus)*

**P1:** *Pensando nas duas balas chegando ao mesmo tempo?*

**A3:** *Eu acredito que pelo fator da distância ela influencia, mesmo pela posição de cada arma.*

**P1:** *Mesmo se forem atiradas ao mesmo tempo?*

**A3:** *Eu acredito que sim.*

Com isso, sem realizar as transformações de Lorentz, os alunos tentam relacionar a velocidade com os referenciais. Após a resolução das transformadas, chegamos às coordenadas para o referencial do micro-ônibus  $\begin{cases} E_1 \rightarrow L \\ E_2 \rightarrow \gamma L; -\frac{\gamma v L}{c^2} \end{cases}$

**P1:** *Qual o primeiro que ocorre?*

**A5:** *o E1 (bala da esquerda entrando no ônibus).*

**P1:** *Ele ocorre em qual coordenada tempo?*

**A5:**  $t=0$

**P1:** *Imagina que eu vou fazer a reta do tempo, uma reta temporal. Quanto deu o tempo aqui?*

**A5:** *Negativo ( $-\frac{\gamma v L}{c^2}$ )*

**P1:** *ou seja, o evento 2 (bala da direita entrando) aconteceu antes.*

**P1:** *Os eventos acontecem simultaneamente?*

**Alguns alunos:** *Não.*

Chegamos ao conceito que para o referencial do atirador há simultaneidade dos eventos, porém no referencial do ônibus, o evento 2 acontece antes do 1. Mesmo que as armas tivessem uma distância entre elas de  $L$ , as distâncias espaciais entre  $E1$  e  $E2$ , para o referencial do ônibus, é  $\gamma L$ . Assim, os alunos são perguntados novamente quantas mortes aconteceram?

**A5:** *Não. Não matou as duas pessoas, matou uma só.*

**P1:** *Por quê?*

**A5:** *Porque, calma... (incompreensível)... o movimento vai deslocar só a parte de trás, não a parte da frente. Porque está deslocamento para lá, porque ônibus está deslocando para lá (sentido da velocidade). Então desloca só assim.*

**P1:** *Qual as distâncias entre os assentos das pessoas que estão sentadas?*

**Alguns:**  $L$

**P1:** *Pra quem?*

**A5:** *Pra quem tá no ônibus, não calma.*

**A6:** *Para quem está no atirador*

**A5:** *Para o atirador ali.*

O aluno **A3** questiona acerca das medidas dos eventos, para quem é  $\gamma L$ . Surge uma dúvida acerca dos eventos, relação das coordenadas e até a significância de  $\gamma$  para baixas velocidades. Após ponderarmos que era um micro-ônibus relativístico, a dúvida sobre a quantidades de mortes ainda pairava pela sala. É importante esse momento porque fica claro que os alunos ainda não dominavam totalmente a dimensão relativística. Ademais, o “paradigma” da simultaneidade está totalmente em crise, pois, para o referencial do atirador os eventos acontecem no mesmo instante, porém para o referencial do micro-ônibus há diferenças entre as coordenadas temporais e espaciais. Por isso, ainda provocamos o conflito entre as repostas anteriores dos alunos. Assim, alguns começaram a utilizar o vocabulário e pensamento necessário para a dimensão relativística.



**A3:** *tem que complementar (em relação a resposta da simultaneidade das balas acertarem o ônibus).*

**P1:** *Qual seria o complemento?*

**A2:** *que dependendo do referencial.*

Novamente, é impossível não criar um paralelo com as respostas dadas pelos alunos para o problema do paradoxo apresentado na primeira aula. Nele, não há uma caracterização dos eventos e, dessa forma, a ideia de simultaneidade ficou mascarada pelo desgaste biológico (ou no nosso caso incompatibilidade dos tempos). Com isso, novamente chamamos a atenção para a mera repetição de um discurso oriundo de fontes que não apresentam toda teoria, como filmes e materiais de divulgação. Assim, aceitação natural que duas pessoas podem “sentir dois tempos diferentes” sem compreender os efeitos que levam a isso ou as implicações que se originam nessa diferença temporal é um empobrecimento e incompreensão de toda teoria relativística. Portanto, aceitar, sem a compreensão, que dois gêmeos podem ter idade diferentes porque um viajou para o espaço é desconsiderar toda implicação da simultaneidade e compreensão da natureza e do espaço-tempo. Desta forma, se o indivíduo entende que a simultaneidade depende de um referencial, isso indica uma compreensão mais ampla dos aspectos espaço-temporais e da teoria da relatividade especial. E, por conseguinte, entender realmente o porquê das medidas temporais, para o mesmo evento, serem diferentes em um referencial em movimento relativo.

Na sequência, o professor continua a discussão sobre o referencial e suas coordenadas para evento até que:

**P1:** *Acertou quem você queria?*

**A5:** *Os dois? (com espanto e indignação)*

**P1:** *Sim, mas matou em coordenadas diferentes para dois referenciais.*

**P2:** *Para o atirador matou os dois ao mesmo tempo. Para quem está no ônibus, o da frente morreu antes.*

**P1:** *Porque o evento 2 acontece antes.*

**A5:** *Hum... estranho.*

**P1:** *Mesmo estando mais longe um do outro.*

**A5:** *Mas é muito estranho isso.*

Após uma pequena brincadeira com a situação surge uma grande pergunta.

**A6:** *E ele consegue ver as mortes?*

**A5:** *Então o atirador... isso que eu ia perguntar ele vê as mortes ao mesmo tempo, ele vê uma morte depois da outra, se tivesse uma câmera lá no ônibus.*

Lembramos que o “ver” da pergunta remete à visão de um observador em determinado referencial, ou seja, o olhar a partir de cada referencial. Para consolidar essa ideia remetemos à atividade em que os estudantes eram obrigados a estar conectados aos referenciais (atividade *Marco zero*).

**P1:** *o “vê” seria a mesma coisa que se você estivesse grudado com o referencial do cano, ou seja, ter mesmo olhar que a pessoa tem.*

Outro ponto importante que devemos nos atentar acerca da repetição de um discurso pronto do paradoxo dos gêmeos, sem compreender os conceitos, e que esse discurso implica a uma concepção errônea da natureza. Nesse fenômeno, os aspectos relativísticos ficam condensados a apenas interpretações temporais do espaço-tempo. Ou seja, causando uma imagem de que o tecido espaço-temporal possui efeitos somente temporais, ou pior, que espaço e tempo não estão associados, mas separados. Portanto, produzindo uma visão contrária à compreensão real do universo introduzida por Einstein e da própria relatividade. Desta forma, novamente, a passagem de tempo diferente para os gêmeos é compreensível, mas entender que suas medições espaciais também são diferentes gera estranheza, ainda que sejam os mesmos eventos. Isso fica claro na reação dos alunos quando a simultaneidade é quebrada sem grandes problemas, mas a análise das mortes é estranha já que para o referencial do micro-ônibus, a distância entre as balas é  $\gamma L$  e para o atirador é  $L$ .

Outra das implicações mais interessantes da diferença de medidas entre referenciais com movimento relativo é o conceito físico que necessita exatamente de deslocamento e tempo: a velocidade. Com isso, por meio da atividade deslocamento pelo tempo, criamos questões que conflitavam os postulados da relatividade com a velocidade vetorial clássica e velocidade relativística. Assim, algumas questões eram:

1. O que ocorreu nesse vídeo ocorreria da mesma forma a partir do ponto de vista relativístico?
2. O módulo da velocidade final da bola seria igual ou semelhante à velocidade clássica?
3. Se a bola fosse um fóton o que ocorreria?
4. Qual seria a velocidade da luz neste caso?

Desta forma, as discussões discorreram sempre confrontando os conceitos de velocidades. É importante salientar, que essa aula em especial, só teve a participação de quatro alunos, de modo que as discussões foram bastante prejudicadas. Portanto, mostramos a *gif* do programa *Mythbusters*, em que a bola de canhão é lançada com velocidade contrária a velocidade do canhão. Com isso, ao serem questionados se o efeito que acontece no canhão e

se no carro aconteceria do mesmo jeito partindo da visão relativística, os alunos já logo conseguem correlacionar:

**A1:** *Partindo do referencial da bala e do caminhão*

Além disso, já relacionam eventos à análise.

**A2:** *A partir do evento disparo.*

Porém, ainda seguem um pouco perdidos

**A1:** *eu acho que sim, só não sei explicar o porquê.*

**A2:** *não sei, não sei se dá para encaixar alguma transformação de Lorentz.*

**A1:** *Vamos pensar que o carro está na velocidade da luz e ele lança a bola na velocidade da luz para o outro lado. Então a bola passou da velocidade da luz para zero.*

Tentam fazer as transformações e análises das velocidades relativísticas. **A1** continua:

**A1:** *Acho que seria do mesmo jeito, acho que não muda nada, só não sei por quê.*

Conseguem entender que a somatória das velocidades é igual a zero, porém, quando parte para uma análise da dimensão relativística, ficam em dúvida e discutem, até **A2**:

**A2:** *Eu acho que vai continuar sendo zero, porque ainda depende do descolamento, certo?* (ou seja, ainda não estão totalmente na dimensão relativística)

**A1:** *ok.*

Para outra pergunta quando tanto o carro quanto a bola tiverem os mesmos módulos e direção da velocidade:

**A1:** *Bem, depende da velocidade da bola, se o carro estiver a  $c$ , a bola vai continuar a  $c$ .*

**A2** lê novamente a pergunta. E **A1** confirma.

**A1:** *Se o carro está a  $c$ , e aí ele lança a bola mais afrente a  $c$ , a bola também vai continuar a  $c$ . Não pode aumentar.*

**A2:** *Do ponto de vista relativístico.*

**A1:** *Sim, do ponto de vista relativístico.*

Diferente da aula sobre o relógio de luz, os alunos, agora já ponderam a invariância de  $c$ . Assim, notamos que eles já conseguem compreender com um pouco mais de propriedade a dimensão relativística. Perguntados se a bola fosse um fóton, **A1** e **A2** logo aponta.

**A1:** *Acho que agora fica mais difícil.*

**A2:** *Acho mais fácil pensar se fosse uma bola.*

**A1:** *Não sei o que é mais fácil o que é mais difícil. (risos)*

**A1:** *O fóton já está a  $c$ .*

**A2 e A1:** *E vai ser sempre  $c$ .*

**A2:** *Independente...*

**A1:** *A diferença é que a bola ia cair, o fóton não ia cair desse jeito né?*

**A2:** *Não.*

**A1:** *Caramba, calma. Se eu atirar um fóton, eu tô andando para cá, se eu atirar um fóton, olha que loucura isso, se eu atirar um fóton pra cá, e eu estiver a  $c$  pro lado de cá... (indicando o sentido contrário)*

**A2:** *O fóton cai.*

**A1:** *Não o fóton continua a  $c$  para lá! Não anula a velocidade.*

**A1:** *(risos) o fóton não vai cair no chão (risos)... que absurdo gente... que absurdo... o que está acontecendo.*

Como é visto, os alunos estão dentro da dimensão relativística, porém, ainda não tinham atribuído o significado relativístico para o signo velocidade. Assim, como utilizamos a ferramenta de design *Multidimensões*, tanto essa estranheza relatada quanto o confronto da dimensão para uma ressignificação já eram previstos durante o processo de criação. Com isso, temos mais uma evidência de que a criação das atividades pelas ferramentas permite a estruturação de sequências didáticas coesas e menos orientadas pela intuição ou experiência prévia.

Ao serem perguntados qual seria a velocidade da luz se o canhão fosse um canhão de laser, eles respondem:

**A1:** *O laser é luz, então é fóton, certo?*

**A2:** *sim*

**A1:** *Então a velocidade da luz é  $c$ , então seria  $c$ . Ei, isso é uma pegadinha! (risos) É  $c$ , não faz diferença. É pegadinha.*

**A1:** *(se fosse atirada no sentido do carro) Ela ia ganhar velocidade dada ela, mais a velocidade que ela tinha antes, que era a do carro, só que essa velocidade total não pode ultrapassar  $c$ .*

Quando perguntados se velocidade ainda teria o caráter de taxa de variação do espaço pelo tempo respondem:

**A2:** *Não, porque a taxa de variação do espaço dependerá do referencial.*

**A1:** *Isso mesmo.*

No início de debate em sala um aluno ficou bastante confuso nas relações de referenciais e a relação entre as velocidades. Acreditamos que isso foi causado por dois fatores: primeiro foi devido à grande quantidade de faltas que esse aluno teve até esta aula e, segundo

sua insipiência com os conceitos da física, visto que mesmo a física clássica não estava totalmente compreendida para o estudante.

Ainda durante a discussão em sala pudemos trabalhar a forma de como se analisa a natureza. O professor atribuiu exemplos de como a natureza é relativística, ou seja, o espaço-tempo como conhecemos é relativístico. Porém, com o uso da atividade, a discussão deixou clara como, no nosso dia-a-dia, a mecânica clássica pode ser utilizada, pois as velocidades são baixas. Mais do que isso, trabalhamos os limites de cada teoria, principalmente, quando a mecânica newtoniana não é mais válida.

**P1:** *Sabe o que é mais importante, pro curso de relatividade? É vocês perceberem que é errado falar, a bola tem velocidade zero, a bola tem velocidade  $v$ , essa frase está errada. Vocês têm que dizer a bola tem velocidade zero, para ela, a bola tem velocidade três, para o  $S_a$ , a bola tem velocidade 5, pro  $S_b$ .*

**A1:** *Até porque um objeto vai estar parado em relação a ele mesmo, então sempre precisa estar em movimento em relação a outro referencial.*

**A1** evidencia um domínio da dimensão relativística que é bastante interessante. Ademais, essa frase mostra como o pensamento nessa dimensão é diferente, ou seja, não são simplesmente medidas ou pontos, mas relações que demandam um pensamento que levem em consideração outros referenciais. Assim, continuando a discussão das questões propostas no início da aula, os alunos conseguiram relatar que a velocidade do fóton é sempre  $c$ . É importante frisar que duas questões parecem ambíguas, porém elas foram propositalmente colocadas. Uma delas deixa explícito o uso da relatividade e outra não.

Por outro lado, quando surge a discussão acerca da definição da velocidade clássica como a variação do espaço dividido pela variação do tempo, os alunos ainda estão em processo de ressignificação. Assim, embora já possuam nuances da dimensão relativística, nem todos atribuíram novos significados aos signos.

**P1:** *Na clássica velocidade é  $ds/dt$ , relativisticamente ainda é isso?*

**A1:** *Não.*

**A3:** *Eu ainda acho que sim.*

Porém, A3 justifica pensando somente na fórmula e o professor o instiga a pensar no conceito e não só na fórmula. Porém, A1, que não ressignificou a velocidade para relatividade, tenta justificar a mudança da lei física devido às medidas diferentes para diferentes referenciais.

**A1:** *A variação do espaço precisa do referencial.*

**A3:** *Eu acho que sim, por conta do fenômeno.*

**A1:** *Oh, pensa assim, lembra da contração de Lorentz? Pensa em uma barra, você quer medir a velocidade de uma formiga que vai de uma ponta a outra da barra, tá? Ai você está no referencial da barra. Ai você pensa em um referencial relativístico, quem tiver do lado de fora desse referencial vai ver a barra diminuir, então a velocidade da formiga vai variar.*

**A3:** *Eu entendo, mas você está analisando dois referenciais.*

Ainda com dúvida o aluno **A3** lê novamente a pergunta. E ela indaga que não está explícito que tem dois referenciais, ela diz que pensa só na taxa de variação, porém:

**A1:** *Mas ele falou relatividade... se falou relatividade, é um referencial em relação ao outro... automaticamente.*

Professor pergunta se então não tem a relação de taxa de variação pelo tempo:

**A3:** *Não, porque a medição do espaço varia de um referencial para o outro.*

**A2:** *Mas assim, se você está no referencial da barra, você continua medindo o ponto inicial da barra e o ponto final sobre o tempo, beleza. Se você está fora da barra, em outro referencial e a barra está andando, você vai continuar fazendo essa medição do ponto inicial e o final. Então a taxa de variação... o jeito de calcular velocidade vai ser o mesmo.*

**A1:** *O jeito de calcular sim.*

**P1:** *Vamos pensar aqui comigo, dá para usar a formula  $v=dx/dt$  na relatividade?*

**A1:** *Não.*

A discussão continua acerca da relação da fórmula, até existindo uma brincadeira em relação ao que é velocidade na primeira prova do primeiro ano do ensino médio e o que é velocidade na segunda prova de relatividade.

**A1:** *A meu ver, no meu referencial sim, em outro referencial não.*

**P2:** *Então aí a velocidade vai ser outra coisa?*

**A1:** *Não, aí tem diferença entre a relação de variação e espaço. Porque para mim, no espaço relativístico tem referencial menor, então... quem entra em um referencial relativístico vai ter uma variação de posição diferente.*

**P2:** *E se eu te perguntar, aqui você está parado, sentadinho. O que velocidade?*

**A1:**  *$ds/dt$*

**P2:** *Ai passou alguém aqui com uma velocidade muito alta, qual é a velocidade?*

**A1:** *Pra mim é  $ds/dt$*

**P1:** *e para o outro?*

**A1:** *Para mim, em relação ao outro... (palavrão)... (com espanto e frustração) é  $ds/dt$ ...*  
(risos)

**P1:** *Se você começa a andar muito rápido, como faço para medir sua velocidade?*

**A1:**  $ds/dt$

**P1:** *Então, por que a fórmula não é válida?*

**A1:** *Não sei...(risos)*

**P1:** *Agora, meu  $ds/dt$ , vai igual ao seu  $ds/dt$ ?*

**A1:** *Não.*

**A3:** *Eu estava tentando falar isso...*

**P1:** *É, eu sei, só era importante a discussão. Mas você estava certo. Continua sendo  $ds/dt$ , só que eu vou medir um  $ds$  e um  $dt$  e você mede outro  $ds$  e outro  $dt$ . Cada um vai medir um  $ds$  e  $dt$  diferente, mas a definição de velocidade continua sendo  $ds/dt$ . Espaço medido sobre o tempo medido.*

Nesse momento o professor demonstra como chegar na equação de  $U_x$ ,  $U_y$  e  $U_z$  e do módulo da velocidade relativística utilizando as transformações de Lorentz.

Desta forma, devido as falas dos alunos, conseguimos relacionar diretamente o uso das ferramentas de design a resultados obtidos ou a fenômenos ocorridos durante as atividades. Durante aplicação foi possível ver os alunos colocando em crise seus paradigmas, aprendendo por situação extremamente complexa, sendo introduzidos a uma nova dimensão e, com isso, novos significados para signos já existente foram sendo construídos. Ou seja, foi possível evidenciar aspectos previstos pelas grandes teorias presentes em nossas ferramentas de design. Além disso, a mudança no discurso de alguns alunos indica um amadurecimento das ideias e, principalmente, uma capacidade de acessar e refletir acerca da dimensão relativística. Portanto, a influência das ferramentas identificada em atividades específicas e situação continuadas (como o domínio e evolução da linguagem) durante o curso. Desta forma, o capítulo que finaliza essa dissertação irá discutir como esses resultados obtidos podem nos levar a conclusão acerca dos estruturantes de sequências didáticas e das ferramentas de design utilizadas. Ademais, iremos debater os problemas ocorridos na aplicação e na pesquisa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

O projeto de pesquisa apresentado nessa dissertação nasceu de angústias pessoais e profissionais, a partir do momento que sentimos a necessidade de encontrar referenciais teóricos capazes de nos orientar na elaboração das aulas ao entrar, de fato, na escola básica. O desejo era encontrar uma maneira de estruturar sequências didáticas que se fundamentassem em princípios teóricos consistentes e não apenas em indícios de intuição ou experiência cotidiana. Com isso, passamos a querer identificar e entender quais seriam os elementos estruturantes das SD de forma que um outro professor, que não tivesse participado de seu processo de criação, pudesse aplicá-las e, até mesmo, transformá-las de acordo com seus próprios objetivos.

Porém, como visto, no enfrentamento desse desafio, nossa pesquisa extrapolou suas perguntas iniciais e acabamos por estabelecer objetivos maiores, pois, além disso, aplicamos e avaliamos a SD criada nesse processo. Assim, algo que se originou de uma dúvida sobre como estabelecer critérios para a atuação docente tornou-se uma investigação acerca dos estruturantes que podem nortear professores e pesquisadores na construção de Sequências Didáticas e suas atividades, especificamente, para a Teoria da Relatividade Especial.

Como revelamos na revisão bibliográfica, há, possivelmente, lacunas na formação de professores de física acerca da teoria de Einstein, dada a pouca ênfase ao ensino do tema nas licenciaturas, com poucos cursos no país oferecendo disciplinas específicas de Relatividade. Mais que isso, mostramos que nas pesquisas em ensino de Física, no âmbito nacional, pouco é produzido sobre teoria de relatividade no ensino superior. Tal fato nos levou a centrar nosso foco na formação e na atuação nesse nível da educação. Para nós, tal decisão foi importante pois sabemos que os critérios de qualidade no sistema de ensino básico não poderão ser alcançados sem a formação adequada na graduação.

Assim, ainda que o ensino de física moderna conste nos documentos oficiais que orientam a docência no país e que apareça com alguma frequência em teses e dissertações da área, pouca pesquisa, de fato, é produzida em uma dimensão articulada com a aplicação em sala de aula (BROCKINGTON, 2005). De maneira geral, grande parte dessas pesquisas trata o ensino de física moderna e contemporânea de forma meramente prescritiva. Assim, além da lacuna na formação dos licenciados, quando eles se tornam professores, eles ficam à mercê da utilização de SD elaboradas por outros indivíduos ou, para uma minoria que se arrisca a ensinar o tema, acabam guiados pela intuição ou pela repetição de comportamentos de outros professores que tiveram ao longo da vida. Assim, nossa questão pessoal acerca da estruturação de SD e suas atividades uniu-se à demanda necessária de pesquisas no ensino superior e,



também, à necessidade premente de produção concreta de um material didático que sintetizasse nosso trabalho teórico, ou seja, a criação e aplicação de um curso de relatividade para a licenciatura.

Em nossos primeiros passos, a TLS - Teaching-Learning Sequences - e a DBR - Design-Based Research - surgiram como aportes teórico-metodológicos para nos orientar. Desta forma, iniciamos nosso trabalho pelo estudo aprofundado desta elaboração teórica a fim de entender seus potenciais e as formas mais adequadas de usá-las em nossa pesquisa. Por isso, após um grande processo de estudo e reflexão, entendemos que os estruturantes que procurávamos poderiam ser oriundos das *Grandes Teorias e das Teorias Intermediárias*, nos permitindo criar as *ferramentas de design* adequadas para atingirmos os objetivos propostos com o curso que idealizamos. Este processo traz, portanto, segurança não só para aquele que cria a SD como também para o docente que não participou de sua criação, mas deseja utilizá-la e, até mesmo, adaptá-la.

A partir de todo trabalho teórico e conceitual que fundamenta as *ferramentas de design* foi possível a criação de um curso, orientado por uma SD bastante bem definida, com objetivos claros e previamente determinados e repleto de atividades a eles conectados, de maneira rigorosa e teoricamente articulada, diminuindo, ao máximo, o papel da intuição em sua criação. É preciso ressaltar que nesse processo, de modo algum, desconsideramos ou diminuimos a importância do professor. Pelo contrário, ele é o elemento central do processo de ensino. Nossa abordagem, justamente, centra esforços no uso de teorias, cognitivas e epistemológicas, para orientar esse processo ao invés de deixar o professor sozinho e sem orientação, o que o leva a ser guiado, majoritariamente, pela intuição.

Por fim, também é preciso deixar claro que não fizemos, tampouco achamos que deva ser feita, uma lista de procedimentos a serem executados mecanicamente. Nosso intuito é justamente o oposto. Todo nosso esforço foi, e é, no sentido de ressaltar que somente por meio do domínio teórico é que se pode exercer a criatividade em suas máximas potencialidades. O que fizemos foi criar subsídios para que qualquer professor compreenda como produzir suas próprias SD e, principalmente, como criar uma SD cuja aplicação não esteja, necessariamente, a ele condicionada. Assim, nossa investigação apontou como a criação dessas *ferramentas de design* permite a elaboração de SD e atividades de ensino extremamente robustas, coesas, com um grande nível de detalhamento (LEACH et al., 2010), tornando-se, assim, os estruturantes que tanto buscávamos.

Ao utilizarmos as ferramentas de design, criamos atividades que possuem um cerne robusto, teoricamente orientado e didaticamente articulado. Ou seja, o que norteia esse processo

criativo não provém de uma perspectiva individual do criador, mas sim de um processo complexo, fundamentado em teorias escolhidas, cuidadosamente, de acordo com os objetivos almejados. Dessa maneira, concluímos que esse cerne, teoricamente construído, não enrijece o processo de ensino-aprendizagem, pelo contrário, permite o estabelecimento de situações mais ricas, que permite que um professor, que tenha clara e conscientemente estabelecidos seus objetivos educacionais, saiba de que maneira pode introduzir aspectos pessoais sem perder o rigor, coesão e articulação com seus objetivos.

A partir disso, numa articulação entre teoria e prática, coube a nós não apenas a produção da elaboração teórica tão cara desses estruturantes, mas, principalmente, o estabelecimento, ainda mais caro de um outro momento na pesquisa: sua aplicação.

Sabendo que nossa elaboração teórica seria aplicada em uma sala de aula real, e dada à complexidade do conteúdo a ser trabalhado, foi necessário refazer todo o processo teoricamente estabelecido: escolhemos nossas *Grandes Teorias*, elaboramos nossas *Estruturas Intermediárias* e criamos nossas próprias *ferramentas de design*: as *crises complexas e Multidimensões*.

Essas *ferramentas de design* estruturaram uma série de atividades que foi aplicada em uma disciplina eletiva de Teoria da Relatividade Especial no curso de licenciatura em ciências da Universidade Federal de São Paulo - campus Diadema. Nessa aplicação foi possível encontrar evidências de que nossas ferramentas atuaram como estruturantes da SD que criamos, gerando atividades adequadas aos objetivos que estabelecemos antes da aplicação do curso. Assim, evidenciamos que aspectos previstos pelas ferramentas de design durante a criação emergem quando da aplicação das atividades por elas orientadas. Isso nos levou a concluir que as ferramentas estruturam as atividades e a própria Sequência Didática, visto que suas influências reverberaram no decorrer de todo curso.

Ademais, é importantíssimo frisar que a criação e aplicação do curso também possibilitaram a conclusão de que o nível de detalhamento e núcleo rígido alcançados por meio das ferramentas não enrijeceram as situações de ensino aprendizagem. Pelo contrário, se respeitados os estruturantes, eles possibilitam o estabelecimento de processos simbióticos com diferentes perspectivas de ensino, desde diferentes objetivos educacionais até predileções pessoais de quem irá lecionar. E isso fica evidenciado nesse trabalho quando o professor parceiro, que já possuía uma ementa própria para um curso de relatividade, conseguiu trabalhar aspectos particulares de sua visão para o ensino desse tema juntamente com as atividades que haviam sido criadas por nós, voltadas a pontos específicos do conteúdo. Todo esse processo,

quando feito de forma meticulosa como fizemos, revela o potencial da articulação entre teoria e prática, longe de ser uma “cartilha” ou lista de atividades.

Sendo assim, nesse trabalho, concluímos que os estruturantes para sequências didáticas e atividades foram as *ferramentas de design*, criadas a partir de *Estruturas Intermediárias* e essas, por sua vez, originam-se de *Grandes Teorias* epistêmicas e cognitivas/educacionais. Ademais, é importante frisar que o processo de criação seguindo as *ferramentas de design* é árduo e merece a devida atenção, pois a todo tempo tem-se a tentação de se deixar guiar por noções/crenças pessoais. Para isso, criamos a ideia de *Workbench educacional*, que mantém o design conectado com suas teorias, nichos, objetivos, premissas e ferramentas. Com isso, entendemos, após todo processo, que isso não só se faz necessário como permite que o desenvolvedor tenha real noção todo o processo da criação, seus objetivos e os principais aspectos que devem estar presentes nas ferramentas.

De maneira geral, os problemas que iremos agora relatar são, até certo ponto, esperados em pesquisas como a nossa, cuja natureza envolve aspectos complexos da dinâmica de aplicações em contextos reais de sala de aula. Ao refletir sobre todo esse processo, conseguimos delinear nossos possíveis equívocos durante a aplicação do curso. Desta forma, é necessário destacar dois pontos negativos, ambos ligados à aplicação, à participação dos alunos e à impossibilidade de redesign e reaplicação, imprescindíveis para a DBR.

Tanto a pesquisa quanto a aplicação sofreram a influência de um fator em comum: o tempo. Como prevê a DBR, é necessário ciclos de redesign e reaplicação. Inicialmente, é preciso considerar que o tempo gasto na elaboração teórica de todo esse trabalho não foi pequeno. Após essa etapa, é bastante difícil fazer o desenho da SD, criar as ferramentas, aplicar o curso, analisá-lo, redesenhá-lo e aplicá-lo novamente no período de realização do mestrado. Além disso, por tratar-se de um curso a ser oferecido na forma de disciplina eletiva, temos outra limitação temporal, pois o professor parceiro não poderia se comprometer a oferecê-la novamente, fora a pouca adesão dos alunos às disciplinas dessa natureza. Ademais, é preciso ressaltar que, durante todo esse período, o pesquisador principal estava trabalhando em 3 escolas diferentes, com uma carga docente bem elevada, infelizmente, dentro da condição limitadora bastante conhecida na Educação brasileira.

Sendo assim, nosso ciclo de DBR ficou incompleto. Sempre é preciso ressaltar que os ciclos presentes nas pesquisas internacionais com a DBR são realizados em contextos de aplicação largamente diferentes do nosso, seja por serem pesquisas com financiamento, seja por estarem em condições educacionais próximas do ideal e, principalmente, por serem realizadas por grupos de pesquisas bem maiores e tradicionais, dispondo de recursos financeiros

e humanos. Entretanto, esperamos que, futuramente, o curso desenvolvido nessa pesquisa possa continuar sendo aplicado a partir desta primeira versão e, assim, seja aprimorado por meio dos resultados obtidos nos ciclos da DBR. Assim, ainda que nesse mestrado não tenhamos tido tempo para um processo de redesign e uma nova aplicação, tal fato não diminui nosso trabalho teórico de elaboração do curso, tampouco as análises que evidenciam as *ferramentas de design* como elementos estruturantes da SD por nós desenvolvida.

Outro fator temporal que nos prejudicou sobremaneira foi o calendário letivo. Das 18 aulas previstas, 6 aulas não aconteceram por coincidirem com diferentes feriados e eventos acadêmicos. Desta forma, perdemos 1/3 do curso, restringido consideravelmente nossa aplicação. Isso fez com que tivéssemos que optar por centrar em atividades bem mais específicas e os instrumentos de avaliação acabaram por ser em menor número. Além disso, para que o conteúdo pudesse ser contemplado sem nos distanciarmos de nossos objetivos e sem que os alunos fossem penalizados, fizemos um esforço para diminuir o impacto desse problema do calendário. Uma das maneiras que encontramos para que pudéssemos ter um rendimento maior das aulas foi destinar para casa parte dos exercícios que seriam feitos em sala de aula, agora transformados em listas. Dessa maneira, todas as questões que achamos imprescindíveis para o desenvolvimento e aprendizagem do conteúdo do curso poderiam ter uma parte resolvida em sala de aula, em uma quantidade reduzida em relação àquela que planejamos, mas a outra parte deveria ser trabalhada no estudo em casa dos alunos.

Quanto aos equívocos na aplicação, um deles precisa ser creditado a nós. Percebemos que o fato de não termos criado um material didático específico, como um livro-texto, para a disciplina pode ter prejudicado o andamento do curso. Embora muitos dos materiais específicos das atividades ou slides utilizados pelo professor sejam de nossa autoria (ou de autoria do professor parceiro), uma parte do conteúdo ficou penalizada, pois não tivemos tempo hábil para criação do livro-texto completo para o curso. Isso ocorreu devido à grande quantidade de tempo necessária para realizar a revisão teórica dessa pesquisa, a reflexão e domínio acerca da TLS, a criação das nossas ferramentas de design, fora a criação do curso e atividades, além da necessidade escrever o material de qualificação desta dissertação de mestrado. Com isso, a criação de um livro-texto para tratar a relatividade como gostaríamos ficou inviável. Entretanto, salientamos que, cientes disso, toda teoria e conceitos foram trabalhados longamente em sala de aula. Mas, ressaltamos que, desde a aula inicial, foi disponibilizada uma lista de livros textos tradicionalmente utilizados nos cursos de física e frequentemente presentes na literatura da área.

À guisa de conclusão, ressaltamos que, embora a aplicação do curso tenha sofrido influências indesejadas, encontramos evidências de que as *ferramentas de design* podem ser os

elementos estruturantes de uma SD, propiciando a criação de atividades totalmente articuladas com a SD e, conseqüentemente, com os objetivos do curso. Assim, acreditamos que pesquisas como a nossa precisam ser mais bem exploradas na área de ensino, construindo assim não somente conteúdos teóricos importantes para a atuação docente, mas, principalmente, permitindo que outros docentes possam ter à sua disposição SD com níveis de detalhamento e com núcleos rígidos bem definidos. Portanto, reiteramos que com a construção cada vez mais cuidadosa de cursos, Sequências Didáticas e atividades teoricamente orientadas, menos personalizadas e menos guiadas pela intuição ou experiência, podemos garantir que eles sejam reaplicados com mais segurança e, principalmente, modificados sem perderem suas estruturas.

Esse processo de busca pelos estruturantes, propostos nesse trabalho, revelou a criação de uma SD minuciosamente pensada e teoricamente fundamentada não enrijece o processo de ensino aprendizagem. Pelo contrário, são as atividades criadas a partir das *ferramentas de design* que permitem que o professor tenha liberdade para trabalhar tudo aquilo que acha necessário para atingir seus objetivos de aprendizagem, mesmo em situações que não podem ser totalmente previstas e modeladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LINKS E SITES

A Matter of Time: Conducting Experiments on Perception and Estimations of Time

<https://learning.blogs.nytimes.com/2010/01/06/a-matter-of-time-conducting-experiments-on-perception-and-estimations-of-time/> <acesso Julho de 2017>

Atas SNEF –

<http://fep.if.usp.br/~profis/snef.html> < acesso fevereiro de 2017>

Atas EPEF –

<http://fep.if.usp.br/~profis/epf.html> < acesso fevereiro de 2017>

Cone de Luz –

<http://www.if.ufrj.br/~joras/disciplinas/07.1/topicos/joras.pdf> <acesso Setembro de 2017>

Cinemática Relativística -

[https://midia.atp.usp.br/ensino\\_novo/relatividade/ebooks/cinematica\\_relativistica.pdf](https://midia.atp.usp.br/ensino_novo/relatividade/ebooks/cinematica_relativistica.pdf) <acesso Setembro de 2017>

Guia do Estudante -

<https://guiadoestudante.abril.com.br/blog/melhores-faculdades/conheca-as-melhores-universidades-do-brasil-por-regiao/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Espaço-Tempo e Métrica

<http://vixra.org/pdf/1501.0233v3.pdf> <acesso Julho de 2017>

Espaço de Minkowski-

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/RelCVT.pdf> <acesso Julho de 2017>

Exercícios Relatividade –

<http://plato.if.usp.br/~fma0374d/aula9/lista9.pdf> <acesso Setembro de 2017>

Notas de Aula –

<http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/Fisica-IV/anexos/Aula-20.pdf> <acesso Setembro de 2017>

Universidade Federal do Ceará -

[https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/curriculo.jsf?lc=pt\\_BR&id=657429](https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/curriculo.jsf?lc=pt_BR&id=657429) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal da Bahia -

<https://cacetufba.files.wordpress.com/2010/03/gradecurricular-fisicanoturnolicenciatura181120.pdf> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade de Brasília -

[http://trad.fis.unb.br/PPC\\_Fisica\\_Licenciatura.pdf](http://trad.fis.unb.br/PPC_Fisica_Licenciatura.pdf) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade de Fortaleza-

[http://unifor.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=51&Itemid=27](http://unifor.br/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=27) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal de Goiás -

[https://www.if.ufg.br/up/3/o/Fluxo\\_Curricular\\_da\\_Licenciatura\\_em\\_Fisica\\_-\\_2013\\_-\\_Com\\_Pre-requisitos\\_-\\_atualizado\\_2017.pdf](https://www.if.ufg.br/up/3/o/Fluxo_Curricular_da_Licenciatura_em_Fisica_-_2013_-_Com_Pre-requisitos_-_atualizado_2017.pdf) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul -

<http://sien.ufms.br/cursos/grade/2401> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Católica de Brasília-

<http://www.ucb.br/Cursos/20Fisica/Downloads/?sIT=8> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade de São Paulo -

[https://ifsc.usp.br/graduacao/images/LCE\\_GradeNova.pdf](https://ifsc.usp.br/graduacao/images/LCE_GradeNova.pdf) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade de São Paulo -

<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/listarGradeCurricular?codcg=86&codcur=86400&codhab=204&tipo=N> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade de São Paulo

<http://portal.if.usp.br/salunos/sites/portal.if.usp.br.salunos/files/Manual%202015%20Licenciatura%20novo.pdf> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade

<http://www.fc.unesp.br/#!/departamentos/fisica/cursos/fsica/grade-curricular/matriz-licenciatura-1604/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” -

<http://www.fc.unesp.br/#!/departamentos/fisica/cursos/fsica/grade-curricular/matriz-curricular---licenciatura/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -

<https://ufmg.br/cursos/graduacao/2413/77827> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Estadual de Campinas -

<https://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2018/curriculoPleno/cp56.html> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Estadual de Campinas -

<https://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2018/curriculoPleno/cp40.html> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul -

[http://www.ufrgs.br/ufrgs/ensino/graduacao/cursos/exibeCurso?cod\\_curso=330](http://www.ufrgs.br/ufrgs/ensino/graduacao/cursos/exibeCurso?cod_curso=330) <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal de São Carlos -

<http://fisica.grad.ufsc.br/programas-das-disciplinas/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal de São Carlos -

<http://vestibular2018.ufsc.br/guia-de-cursos/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -



[http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/diretorias-de-gestao/dircom/noticias/materiais-institucionais-da-comunicacao/Fechamento\\_guia\\_do\\_estudante\\_correo\\_CS6.pdf](http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/diretorias-de-gestao/dircom/noticias/materiais-institucionais-da-comunicacao/Fechamento_guia_do_estudante_correo_CS6.pdf)<acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -

<http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/pro-reitorias/prograd/catalogo-de-cursos-da-utfpr/curitiba/licenciatura-em-fisica#Coordenação><acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -

<http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/pro-reitorias/prograd/catalogo-de-cursos-da-utfpr/ponta-grossa/licenciatura-interdisciplinar-em-ciencias-naturais><acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Paraná -

[http://fisica.ufpr.br/grad/optativas\\_licenciatura\\_2011.html](http://fisica.ufpr.br/grad/optativas_licenciatura_2011.html)<acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Paraná -

[http://fisica.ufpr.br/grad/grade\\_licenciatura\\_2011.html](http://fisica.ufpr.br/grad/grade_licenciatura_2011.html)<acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Paraná -

<http://www.jandaiadosul.ufpr.br/licenciatura-em-ciencias-exatas/> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Paraná -

[http://www.jandaiadosul.ufpr.br/wp-content/uploads/2016/01/resolucao\\_76-15\\_exatas\\_curriculo\\_novo.pdf](http://www.jandaiadosul.ufpr.br/wp-content/uploads/2016/01/resolucao_76-15_exatas_curriculo_novo.pdf)<acesso dia 17 de outubro de 2017>

Universidade Federal do Paraná -

<http://www.litoral.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/12/PPC-LicCiencias-2014-VERSAO-APROVADA-PELA-PROGRAD.pdf> <acesso dia 17 de outubro de 2017>

Where Did the Time Go? Do Not Ask the Brain

<http://www.nytimes.com/2010/01/05/health/05mind.html> <junho de 2017>

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, P. C. A de; BIAJONE, J. Saberes docentes e formação inicial de professores: implicações e desafios para as propostas de formação. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 33, n.2, p. 281-295, maio/ago. 2007.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. A Teaching-Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. *Science & Education*, v.21, n.6, p. 827-851, 2012.

AZEVEDO, M. N.; TESTONI, L. A. Formação e papel do professor de ciências na construção curricular: a visão dos documentos oficiais. *Cadernos Cenpec*, São Paulo, v.5, n.2, p.213-232, jul./dez. 2015.

AZEVEDO, M.C.P.S. Situações de ensino – aprendizagem: Análise de uma sequência didática de física a partir da Teoria das Situações de Brousseau. 2008, 284 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, S. Paulo, São Paulo, 2008

BALASUBRAMANIAN, Nathan; WILSON, Brent; CIOŚ, Krzysztof J. Innovative methods of teaching and learning science and engineering in middle schools. *Literacy*, v. 11, p. 2.2, 2005.

BERNARDES, M. E. M. (2009). Ensino e aprendizagem como unidade dialética na atividade pedagógica. *Revista da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional*, 13 (2), 235-242.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática (1º e 2º ciclos do ensino fundamental). v. 3. Brasília: MEC, 1997.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática. (3º e 4º ciclos do ensino fundamental). Brasília: MEC, 1998.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio). Brasília: MEC, 2000.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

\_\_\_\_\_. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

BROCKINGTON, Guilherme. A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio. **São Paulo: Dissertação de Mestrado IFUSP**, 2005.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2016.

CAPPON, Daniel; BANKS, Robert. Experiments in time perception. **Canadian Psychiatric Association Journal**, v. 9, n. 5, p. 396-410, 1964. CHALMERS, A. F. O que é a ciência afinal? São Paulo: Brasiliense, 1993.

COLLINS, Allan; JOSEPH, Diana; BIELACZYK, Katerine. Design research: Theoretical and methodological issues. **The Journal of the learning sciences**, v. 13, n. 1, p. 15-42, 2004.

CRESWELL, John W. et al. Advanced mixed methods research designs. **Handbook of mixed methods in social and behavioral research**, v. 209, p. 240, 2003.

CUPAIOLI, Marcos Eder. Abordagem experimental no ensino de física com materiais de baixo custo e reciclados. 2016.

DBR-COLLECTIVE. Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5-8, 2003.

DRISOSTES, Carlos Aparecido Teles et al. Design iterativo de um micromundo com professores de Matemática do Ensino Fundamental. 2005.

DUARTE, N. A anatomia do homem é a chave da anatomia do macaco: a dialética de Vigotski e em Marx e a questão do saber objetivo na educação escolar. *Educação e Sociedade*, ano XXI, nº 71, 2000.

EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. **LORENTZ, HA, EINSTEIN, A. E MINKOWSKI, H. O princípio da relatividade. Lisboa: Calouste Gulbekian, 1983.**

FRANCELIN, M. M. Ciência, senso comum e revoluções científicas: ressonâncias e paradoxos. *Ciência da Informação (Impresso)*, Brasília, v. 33, n.3, p. 26-34, 2004.

GIORDAN, Marcelo; GUIMARÃES, Yara AF; MASSI, Luciana. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências. **Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, 2011.

GUIMARÃES, Yara AF; GIORDAN, Marcelo. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. 2011. **VIII Encontro Nacional De Pesquisa em Educação em Ciências, Campinas, SP, 2013.**

HASTENREITER, Daniel; JÚNIOR, Carlos. Impactos da Escolha da Licença na Dinâmica de Desenvolvimento de Software Livre. 2015.

INTERSTELLAR (Interestelar). Christopher Nolan, EUA, 2014.

JAMMER, Max. **Concepts of simultaneity: From antiquity to Einstein and beyond.** JHU Press, 2006.

JING-JING, H. U. A critical review of pedagogical content knowledge'components: Nature, principle and trend. **International Journal of Education and Research**, v. 2, n. 4, p. 411-424, 2014.

JOHNSON e ONWUEGBUZIE, 2004) - JOHNSON, R. Burke; ONWUEGBUZIE, Anthony J. Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. **Educational researcher**, v. 33, n. 7, p. 14-26, 2004.

JUUTI, Kalle; LAVONEN, Jari. Design-based research in science education: One step towards methodology. **Nordic studies in science education**, v. 2, n. 2, p. 54-68, 2012.

KABAPINAR, Filiz; LEACH, John; SCOTT, Phil. The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. **International journal of science education**, v. 26, n. 5, p. 635-652, 2004.

KARAM, R. A. S. **Estruturação Matemática do Pensamento Físico no Ensino**: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas. Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KARIOTOGLOU, P., TSELFES, V. Science Curricula: Epistemological, Didactical and Institutional Approach. In Koliopoulos, D. (Ed.), *Epitheorisi Fisikis*, Special Issue on Science Didactics, 31, p.19-28. 2000.

KLAASSEN, C. W. J. M.; LIJNSE, P. L. Interpreting students' and teachers' discourse in science classes: An underestimated problem? **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 33, n. 2, p. 115-134, 1996.

KNEUBIL, Fabiana Botelho. **O percurso epistemológico dos saberes e a equivalência massa-energia**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KNEUBIL, Fabiana; PIETROCOLA, Maurício. A PESQUISA BASEADA EM DESIGN: VISÃO GERAL E CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 2, 2017.

KORTLAND, Koos; KLAASSEN, Kees. Designing theory-based Teaching-Learning sequences for science education. **FSME, Utrecht**, 2010.

LAWALL, I. T. et al. Dificuldades de professores de física em situação de inovações curriculares e em curso de formação. **XII EPEF–Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2010.

LEACH, John; SCOTT, Phil. Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. 2002.

\_\_\_\_\_. Individual and sociocultural views of learning in science education. **Science & education**, v. 12, n. 1, p. 91-113, 2003.

\_\_\_\_\_. Teaching for conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspectives. 2008.

LEACH, John; AMETLLER, Jaume; SCOTT, Phil. Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. **Designing theory-based Teaching-Learning sequences for science education**, n. s 7, p. 35, 2010.

LIJNSE, P. L. Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 1, p. 67-78, 1990.

\_\_\_\_\_. “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, v.79, n.2, p.189-199, 1995.

\_\_\_\_\_. Curriculum development in physics education. **Connecting research in physics education with teacher education**, p. 1997-1998, 1997.

\_\_\_\_\_. Didactics of science: the forgotten dimension in science education research. **Designing theory-based Teaching-Learning sequences for science education**, v. 125, 2001.

\_\_\_\_\_. Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 537-554, 2004.

\_\_\_\_\_. Methodological aspects of design research in physics education. **Designing theory-based Teaching-Learning sequences for science education**, p. 143, 2010.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU. **Mathematics Teaching in the Middle School**, v. 12, n. 5, p. 244-250, 1986.

MÉHEUT, Martine. Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. **International Journal of Science Education**, v. 19, n. 6, p. 647-660, 1997.

MÉHEUT, Martine; PSILLOS, Dimitris. Teaching-learning Sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

\_\_\_\_\_. Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 605-618, 2004

NASCIMENTO, Lia Midori Meyer; GUIMARÃES, Maria Daniela Martins; EL-HANI, Charbel Niño. Construção e avaliação de sequências didáticas para o ensino de biologia: uma revisão crítica da literatura. **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, p. 1-12, 2009.

NICOLAU JÚNIOR, Jorge Luiz. **Estrutura didática baseada em fluxo: relatividade restrita para o ensino médio**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NICOLAU, Jorge; GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Estrutura baseada em Fluxo: sequência de ensino-aprendizagem sobre Relatividade do Tempo. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2013.

OLIVEIRA, M. Pietrocola. O conceito de “sobrevivência dos saberes” como base para a confecção de uma grade de atributos para análise de situações de ensino aprendizagem (TLS). **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 3209-3212, 2009.

PESSANHA, M. Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

PESSANHA, M.; PIETROCOLA, Maurício. COUSO, Digna. Obstáculos epistemológicos no estudo de modelos atômicos com o uso de simulações computacionais. **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo**, 2013.

PIETROCOLA, Maurício; ZYLBERSZTAJN, Arden. O uso do princípio de relatividade na interpretação de fenômenos por alunos de graduação em física. **V ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**, 1996.

PIETROCOLA, Maurício. Inovação curricular em Física: transposição didática e a sobrevivência dos saberes. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba**, 2008.

\_\_\_\_\_ A Transposição da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In:

PIETROCOLA, Maurício. Inovação curricular e gerenciamento de riscos didático-pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média. **FEUSP, São Paulo**, 2010.

POOL, Jessica; LAUBSCHER, Dorothy. Design-based research: is this a suitable methodology for short-term projects? **Educational Media International**, v. 53, n. 1, p. 42-52, 2016.

PSILLOS, D. An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 555-578, 2004.

RANDOLPH, Justus J. A guide to writing the dissertation literature review. **Practical assessment, research & evaluation**, v. 14, n. 13, p. 1-13, 2009.



RODRIGUES, Alexandre Guimarães; PIETROCOLA, Maurício; PIQUEIRA, J. Elaboração de uma sequência didática de ensino-aprendizagem com tópicos de mecânica quântica para cursos de engenharia. **Atas do Cobenge-PA. Belém, PA. Recuperado de <http://198.136>**, v. 59, 2012.

RUTHVEN, Kenneth et al. Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. **Educational researcher**, v. 38, n. 5, p. 329-342, 2009.

SAVINAINEN, Antti et al. The effect of using a visual representation tool in a Teaching-Learning sequence for teaching Newton's third law. **Research in Science Education**, v. 47, n. 1, p. 119-135, 2017.

SILVEIRA, F. L.. A filosofia da ciência e o ensino de ciência. Em Aberto, Brasília, v. 11, n.55, p. 37-41, 1992.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio. *Física na Escola*, v. 11, n. 2, p. 9-11, 2010. Disponível em: Acesso em: 16 mai 2016.

SIQUEIRA, Maxwell. Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. **São Paulo: IF/FE USP**, 2006.

SPYRTOU, Anna; ZOUPIDIS, Anastasios; KARIOTOGLOU, Petros. The design and development of an ICT-enhanced module concerning density as a property of Materials applied in floating/sinking Phenomena. **Curriculum design**, 2008.

TEIXEIRA, N. F. Metodologias de pesquisa em educação: possibilidades e adequações. *Caderno Pedagógico, Lajeado*, v. 12, n. 2, p. 7-17, 2015.

TERRAZZAN, 1992; - TERRAZAN, E. A. A inserção da Física moderna e contemporânea no Ensino da Física na Escola de Segundo Grau. **Atas da V Reunião Latino Americana de Educação em Física**, 1992.

TIBERGHIE, A. Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds.) *Improving Science Education - The Contribution of Research*. Buckingham: Open University Press, p.27-47, 2000.

TIBERGHIE, Andree; VINCE, Jacques; GAIDIOZ, Pierre. Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 17, p. 2275-2314, 2009.

TIBERGHIE, Andrée; BUTY, Christian; LE MARÉCHAL, Jean-François. Physics teaching sequences and students' learning. In: **Science and technology Education at cross roads: meeting the challenges of the 21st century. The second conference of edife and the second ioste symposium in southern europe**. Athènes: Association for Science Education (edife). 2005. p. 25-55.

VIENNOT, Laurence. Physics education research and inquiry-based teaching: a question of didactical consistency. **Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education**. Cdβ press, Utrecht, p. 37-54, 2010.

VIGOTSKI, L. S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

VIIRI, Jouni; SAVINAINEN, Antti. Teaching-Learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 2, n. 2, p. 1, 2008.

WALLIN, Anita; WEST, Eva. Design and validation of Teaching-Learning sequences: Content-oriented theories about transmission of sound and biological evolution. 2013.

ZANETIC, J. *Física Também é Cultura*. 1999. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

## ANEXOS

O professor eventual.

João é um professor eventual que ama a profissão, odeia o nome. No *Aurélio*, ele é ocasional, que pode ou não ocorrer. Mas, em seu coração, tudo é concreto, verdadeiro e real. Ele era de pele, osso, carne e sentimentos, entretanto, infelizmente, não tinha significado. É difícil saber ao certo o que o levou a essa profissão. Diz ele que tudo começou em um evento de profissões, quando era mais jovem. Eventualmente, pensou em ser outra coisa, mas, por alguns motivos, desistiu. Podia ser astronauta, porém tinha medo de ir para o espaço. Outrora, um grande médico, todavia, não consegue ver ossos quebrados. Talvez, se tivesse se formado em outra carreira seria alguém em tempo integral. Por fim, sua maior crise aconteceu quando lia um trecho de dois livros. O primeiro era em relação à etimologia da língua portuguesa, mais precisamente, a raiz *ven-*, que possui o sentido de vir:

[...] Eis que vêm. Surge no horizonte e esse surgir deu à luz tantas palavras! É grande o número das coisas que nos sobrevêm. Qualquer **evento** é como algo que surge, brotando para fora, vindo na nossa direção. Esporádica, toda ação que assim se configura é chamada de **eventual**. Mas há algumas coisas que surgem, dentro de nossa cabeça, e podem ser **aventadas**. Outras podem ser boas ideias e se transformar em **inventos**. Assim fazem os **inventores**, que concebem suas **invenções** antes de realizá-las. Mas se algo foi mirabolantemente criado com a finalidade de mentir, também é uma **invenção**. Desta forma, há pessoas com muita **inventividade** e outras que vivem de **invecionices**. [...]

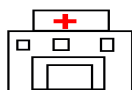
(VIARO, 2013, p. 35)

Já o segundo do livro de Carl Sagan:

[...] Mesmo deixando de lado gênios como Beethoven, é possível ser surdo como uma porta e perceber a música. Essa é também a solução para o velho enigma de saber se um som é produzido, quando uma árvore cai na floresta e não há ninguém para escutar. É claro que, se definirmos o som em termos de alguém que o escuta por definição não há som. Mas essa é uma definição excessivamente antropocêntrica. É evidente que se a árvore cai ela forma ondas sonoras que logo podem ser detectadas vamos dizer por um gravador de CD e quando se toca o CD o som seria reconhecidamente o de uma árvore caindo na floresta. Não há mistério nisso. [...]

(SAGAN, 1997, p.25)

João não acha que os trechos trazem calma a seus dilemas, mas apenas afagam parte de suas confusões. Desta forma, afinal, João é professor sempre ou eventualmente? O que o caracteriza como um professor?

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00001

Nome completo: Roberto da Silva

Data de nascimento: 12/7/1965

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 70 kg

Altura: 1,74m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Mecânico

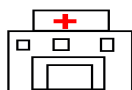
Hábitos:

- Fuma
- Não Realiza exercícios físicos
- Bebe em média duas cervejas por dia
- Não bebe água
- Dieta desregulada

Patologia: Especulário Pulmonar

Recomendação:

- Para de Fumar
- Beber 2,5 Litros de água todo dia
- Regular dieta e comer cenoura, beterraba e rabanetes.

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll, Centro, Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00002

Nome completo: Raimunda Santana

Data de nascimento: 01/12/1984

Sexo: [ ] M [X] F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 56kg

Altura: 1,60m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Osvaldo Pereira

Ocupação: Professora

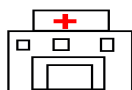
Hábitos:

- Fuma
- Realiza exercícios físicos moderadamente
- Bebe pouca água
- Dieta regulada

Patologia: Goelite vocal

Recomendação:

- Parar de fumar
- Realiza exercícios físicos diariamente
- Beber 2 litros de água por dia

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll, Centro, Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00003

Nome completo: Cleber de Lima Sato

Data de nascimento: 10/11/1975

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 92kg

Altura: 1,76m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Osvaldo Pereira

Ocupação: Engenheiro

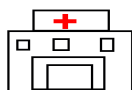
Hábitos:

- Não realiza exercícios físicos
- Bebe 2 Litros de água
- Dieta desregulada

Patologia: Infarto do miocárdio

Recomendação:

- Realizar exercícios físicos
- Regular dieta
- Perder peso

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00004

Nome completo: Edson do Nascimento

Data de nascimento: 05 /05 /1965

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 100kg          Altura: 1,98

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Osvaldo Pereira

Ocupação: Advogado

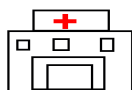
Hábitos:

- Muito estressado
- Dieta regulada
- Consome bebidas socialmente
- Bebe pouca água
- Consumo excessivo de energéticos

Patologia: Tinosinotino

Recomendação:

- Se dedicar mais a atividades de lazer e esportes
- Bebe 2 Litros de água por dia
- Diminuir o consumo de energéticos e refrigerantes

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00005

Nome completo: Mario Toledo de Carvalho

Data de nascimento: 10/10 /1981

Sexo: [ X ] M [ ] F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 76kg

Altura:

1,78m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dra. Mônica Amorim

Ocupação: Analista de Sistemas

Hábitos:

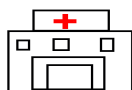
- Fuma
- Realiza exercícios físicos
- Bebe 1,5 Litros de água
- Dieta desregulada

Patologia: Especulário Pulmonar

Recomendação:

- Para de Fumar
- Beber 2,0 Litros de água todo dia
- Regular dieta



**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00006

Nome completo: Cristina Ferreira

Data de nascimento: 22/07 /1987

Sexo: ☐ M ☒ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 67kg Altura: 1,56m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dra. Mônica Amorim

Ocupação: atendente de telemarketing

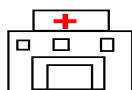
Hábitos:

- Fuma muito
- Bebe 1 Litro de água por dia
- Toma muito refrigerante

Patologia: Goelite vocal

Recomendação:

- Parar de fumar
- Realiza exercícios físicos diariamente
- Beber 2 litros de água por dia
- Procurar nova atividade profissional

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00007

Nome completo: Tânia Melo

Data de nascimento: 29/ 09/1975

Sexo: ☐ M ☒ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 67kg

Altura: 1,70m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação:

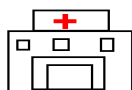
Hábitos:

- Bebe muito
- Estressada
- Toma calmantes
- Consumo excessivo de refrigerantes

Patologia: Tinosinotino

Recomendação:

- Se dedicar mais a atividades de lazer e esportes
- Bebe 2 Litros de água por dia
- Diminuir o consumo de refrigerantes
- Parar com os calmantes

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll, Centro, Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00008

Nome completo: João Pedro Fagundes

Data de nascimento: 25/ 09/1980

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 83kg          Altura: 1,74m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dra. Mônica Amorim

Ocupação: Porteiro

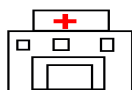
Hábitos:

- Fuma
- Não Realiza exercícios físicos
- Bebe em média duas cervejas por dia

Patologia: Especulário Pulmonar

Recomendação:

- Para de Fumar
- Beber 2,5 Litros de água todo dia

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 00009

Nome completo: Roberta Azevedo

Data de nascimento: 30/11 /1975

Sexo: ☐ M ☒ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 83kg

Altura:

1,70m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dra. Mônica Amorim

Ocupação: Juíza

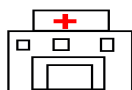
Hábitos:

- Não realiza exercícios físicos
- Bebe 2 Litros de água
- Dieta desregulada
- Abusa de doces e carboidratos

Patologia: Infarto do miocárdio

Recomendação:

- Realizar exercícios físicos
- Regular dieta
- Diminuir carboidratos

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000010

Nome completo: Pedro Rocha Souza

Data de nascimento: 04/12/1975

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 70kg      Altura: 1,74m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Locutor

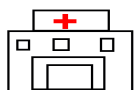
Hábitos:

- Fuma
- Dieta regulada
- Faz exercícios físicos regularmente
- Bebe socialmente

Patologia: Goelite vocal

Recomendação:

- Parar de fumar
- Realiza exercícios físicos diariamente
- Beber 2 litros de água por dia

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000011

Nome completo: Airton Pinto da Costa

Data de nascimento: 27/ 01/1980

Sexo: [ X ] M [ ] F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 80kg Altura: 1,72m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Dráuzio Varella

Ocupação: Policial

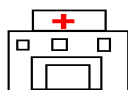
Hábitos:

- Muito estressado
- Dieta desregulada
- Consome excessivamente refrigerantes e energéticos
- Fuma

Patologia: Tinosinotino

Recomendação:

- Se dedicar mais a atividades de lazer e esportes
- Bebe 2 Litros de água por dia
- Diminuir o consumo de energéticos e refrigerantes
- Parar de Fumar

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll, Centro, Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000012

Nome completo: Gustavo Henrique do Nascimento

Data de nascimento: 12/05 /1979

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 100kg                      Altura: 1,79

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Ferramenteiro e Marceneiro (noite)

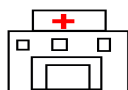
Hábitos:

- Não realiza exercícios físicos
- Dieta desregulada
- Dorme pouco

Patologia: Infarto do miocárdio

Recomendação:

- Realizar exercícios físicos
- Regular dieta
- Dormir mais

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000013

Nome completo: Gabriela Cruz

Data de nascimento: 13/08/1950

Sexo: ☐ M ☒ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 85kg

Altura:

1,62

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Dráuzio Varella

Ocupação: Gerente de RH

Hábitos:

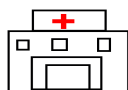
- Fuma
- Levemente estressada
- Não bebe álcool
- Bebe 2 Litros de água por dia

Patologia: Especulário Pulmonar

Recomendação:

- Para de Fumar
- Regular dieta e comer legumes e vegetais.



**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000014

Nome completo: Patrícia Lemos de Barro

Data de nascimento: 12 /03 /1980

Sexo: ☐ M ☒ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 80kg Altura: 1,80m

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Cantora

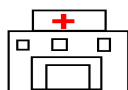
Hábitos:

- Fuma
- Bebe pouca água

Patologia: Goelite vocal

Recomendação:

- Parar de fumar
- Realiza exercícios físicos diariamente
- Beber 2 litros de água por dia
- Diminuir a atividade profissional por breve tempo

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE***Hospital Robert Einstein*

Rua Antônio Doll Centro Diadema - SP

**PRONTUÁRIO DO PACIENTE**

Número do prontuário: 000015

Nome completo: José de Oliveira

Data de nascimento: 06/06/1980

Sexo: ☒ M ☐ F

Telefone(s): 11 33244000

Peso: 80kg

Altura: 1,83

Médico(s) do Paciente (se houver): Dr. Raimundo Machado

Ocupação: Físico

Hábitos:

- Realiza exercícios físicos regularmente
- Bebe 2 Litros de água por dia
- Dieta regulada
- Bebe uma cervejinha às vezes
- Toma refrigerantes no almoço de fim de semana

Patologia: Infarto do miocárdio

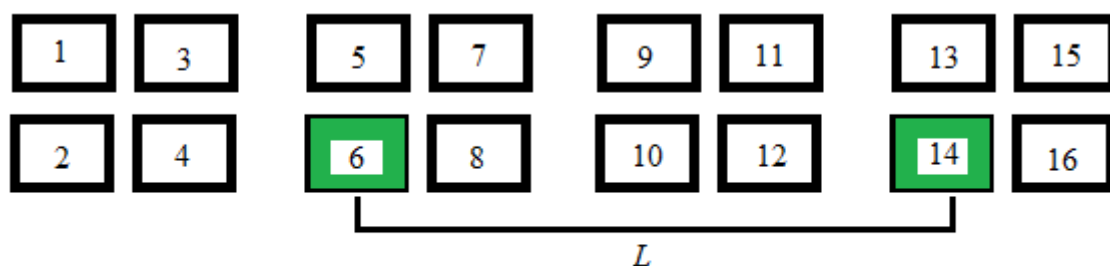
Recomendação:


- Diminuir refrigerantes no almoço de fim de semana

### Paradoxo

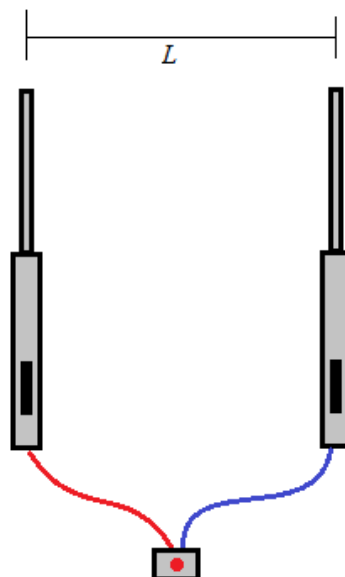
Você é um assassino de aluguel. Em certa data, um presidente contratou seus serviços focando em dois “inimigos” territoriais. Sua única missão é atirar simultaneamente nas duas pessoas durante uma viagem de micro-ônibus fretado. Curiosamente, por mais que você tenha anos de experiência, é a primeira vez que você deve realizar duas mortes ao mesmo tempo.

Eles irão encontrar o seu contratante, por isso, quem fez as reservas do veículo foi a própria secretária do presidente. Desta forma, ela manda o mapa dos assentos:

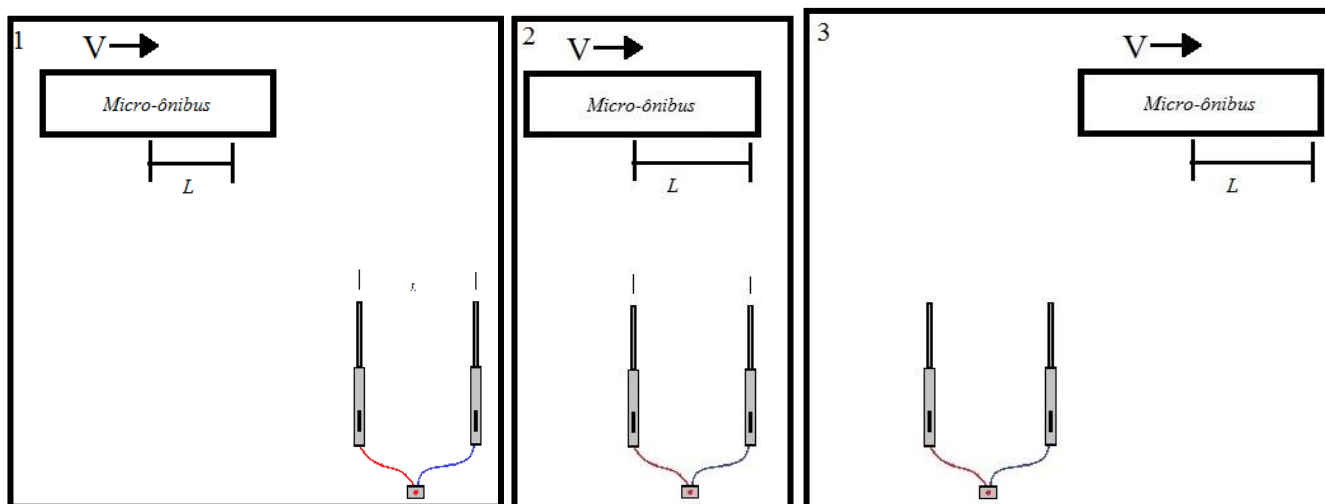


 Lugares dos inimigos

Você, devido a muita experiência na carreira, alinha dois rifles baseando-se na distância  $L$  dos assentos. Além disso, você programa um ativador automático para cada arma e utiliza balas idênticas para o tiro, tudo isso para garantir a simultaneidade dos acertos. Assim, você deve ter um arranjo parecido com:



Assim, o atirador é acionado exatamente quando a distância  $L$  dos assentos estiver alinhada com as armas. Por fim, desenho do desenvolvimento do plano deve ser o seguinte:



Para o seu plano de ação, responda:

1. Se tudo der certo, quantas mortes você causará?
2. Mesmo que os viajantes estiverem no local correto, e desconsiderando fatores biológicos, você acredita que há chances de uma das balas não acertar o alvo?
3. As balas idênticas cravarão, com toda a certeza, o micro-ônibus ao mesmo tempo? (desconsidere possíveis falhas mecânicas e eletrônicas de todos os objetos envolvidos).
4. Quais são os principais eventos que ocorrerão nessa história?

Grupo 1:

---



---



---



---



---

Tarefas gerais:

- Cada grupo deverá seguir algumas instruções;
- Cada grupo deverá realizar algumas medições;
- Cada grupo é um sistema referencial diferente, ou seja, um mundo diferente.
- Somente um integrante do grupo deve conduzir o eixo de medidas.
- Somente um integrante do grupo deve ser o contador temporal.

Grupo 1:

### **Evento 1:**

- Antes do evento:
  - Partindo do início, ande 2,5 metros para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

**Evento 2:**

- Antes do evento:
  - Vire para esquerda, feito isso, ande 1 metro para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

**Evento 3:**

- Antes do evento:
  - Vire para esquerda, feito isso, ande 0,5 metros para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

**Evento 4:**

- Antes do evento:
  - Vire para esquerda, feito isso, ande 1 metro para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

Grupo 2:

---



---



---



---



---

Tarefas gerais:

- Cada grupo deverá seguir algumas instruções;
- Cada grupo deverá realizar algumas medições;
- Cada grupo é um sistema referencial diferente, ou seja, um mundo diferente.
- Somente um integrante do grupo deve conduzir o eixo de medidas.

### **Evento 1:**

- Antes do evento:
  - Partindo do início, ande 3 metros para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Fique parado.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---



**Evento 2:**

- Antes do evento:
  - Vire para direita, feito isso, ande 0,5 metros para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Caminhe para 0,5m.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

**Evento 3:**

- Antes do evento:
  - Vire para direita, feito isso, ande 1 metro para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

**Evento 4:**

- Antes do evento:
  - Vire para esquerda, feito isso, 1 metros para frente.
  - Fique parado.
- Durante o evento:
  - Continue parado e observe.

RESPONDA:

Qual foi o evento?

---

Qual é a medida espacial do evento?

---

Qual é a medida temporal do evento?

---

Instruções:

- Os grupos devem partir com 2 metros de diferença entre eles.
- Os eventos devem ocorrer exatamente no meio do caminho entre a distância anterior, porém, sendo realizados a 2 metro da “reta de início”.